

MIDAS 建設分野 ユーザー解析事例発表会

既設盛土のり面補強対策に関する解析的検証 - SOILWORKS for FLIP 活用事例

八千代エンジニアリング株式会社 大阪支店 環境部
加茂 由紀彦

MIDAS × YACHIYO





**MIDAS 建設分野
ユーザー解析事例発表会**

既設盛土のり面補強対策に 関する解析的検証

**八千代エンジニアリング株式会社
加茂 由紀彦**

目次

- 1. 業務概要**
- 2. 大型動的遠心力載荷試験**
- 3. 再現モデルの構築**
- 4. 補強材配置、のり枠の補強効果の検証**

既設盛土のり面補強対策に関する解析的検証
八千代エンジニアリング株式会社 加茂 由紀彦

MIDAS × YACHIYO

session1

業務概要



**MIDAS 建設分野
ユーザー解析事例発表会**

**既設盛土のり面補強対策に
関する解析的検証**

**八千代エンジニアリング株式会社
加茂 由紀彦**

session1

業務概要

業務目的

大型動的遠心力載荷試験の補強材配置
（間隔、長さ）を決める

業務フロー

補強材、のり枠による補強効果の検討

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

session1 業務概要

発注者	NEXCO総研（高速道路総合技術研究所）
目的	本業務は、鉄筋挿入による盛土補強土工（以下「盛土補強土工」という。）の合理的な設計方法を検討するものである。検討にあたっては、模型供試体を用いた補強材の引抜き試験及び加振実験により、補強材の引抜き力及び盛土補強土工で補強された盛土のり面の地震時における補強効果を検証するものとする。また、数値解析によりのり面全体の安定について検証を行い、補強材とのり面工による効果も考慮した最適な補強材の配置間隔の設定等、盛土補強土工の合理的な設計方法を確認することを目的とする。
履行期間	平成 29 年3月10 日～平成 30 年3月4日
内容	土質試験 実験計画 企画・立案 実験結果 整理・分析 模型実験 補強材の引 抜き試験 模型実験 大型動的遠 心力載荷試験 補強効果の解析検証 設計方法検討資料作成 報告書作成

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

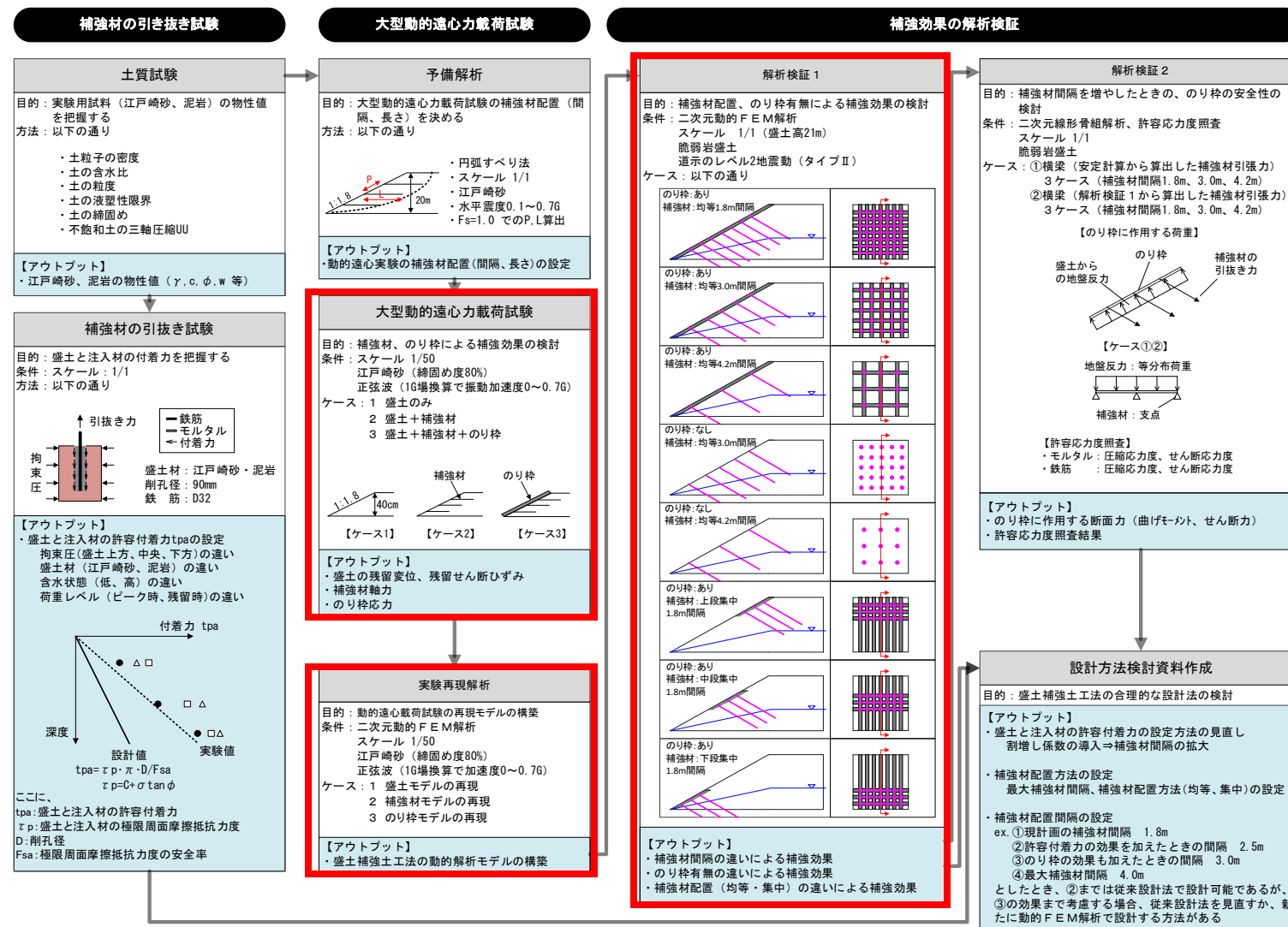
八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

session1 業務概要

6

業務フロー

※赤枠の項目を説明します



既設盛土のり面補強対策に関する解析的検証

八千代エンジニアリング株式会社 加茂 由紀彦

MIDAS × YACHIYO

session2

大型動的遠心力載荷試験



MIDAS 建設分野

ユーザー解析事例発表会

**既設盛土のり面補強対策に
関する解析的検証**

**八千代エンジニアリング株式会社
加茂 由紀彦**

session2

大型動的遠心力載荷試験

目的

大型動的遠心力載荷試験の目的は、
補強材、のり枠による補強効果について調べる。

試験機器および材料

実験条件

実験結果 整理・分析

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

session2 大型動的遠心力载荷試験

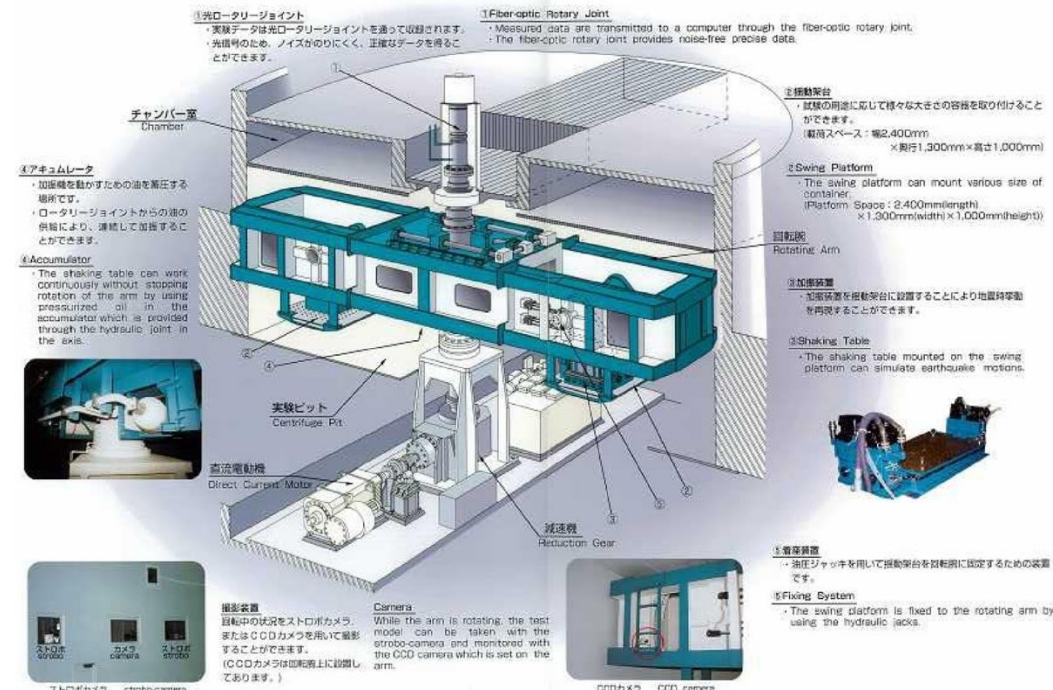
9

試験装置

項目	出力項目
内寸	幅300×長さ1500mm×高さ500mm
最大遠心加速度	静的150G、動的100G
最大加振加速度	40G
最大加振容量	40t・G
最大速度	90cm/s
最大変位	±5mm
加振周波数	10～400Hz



【動的大型土槽（土木研究所資料）】



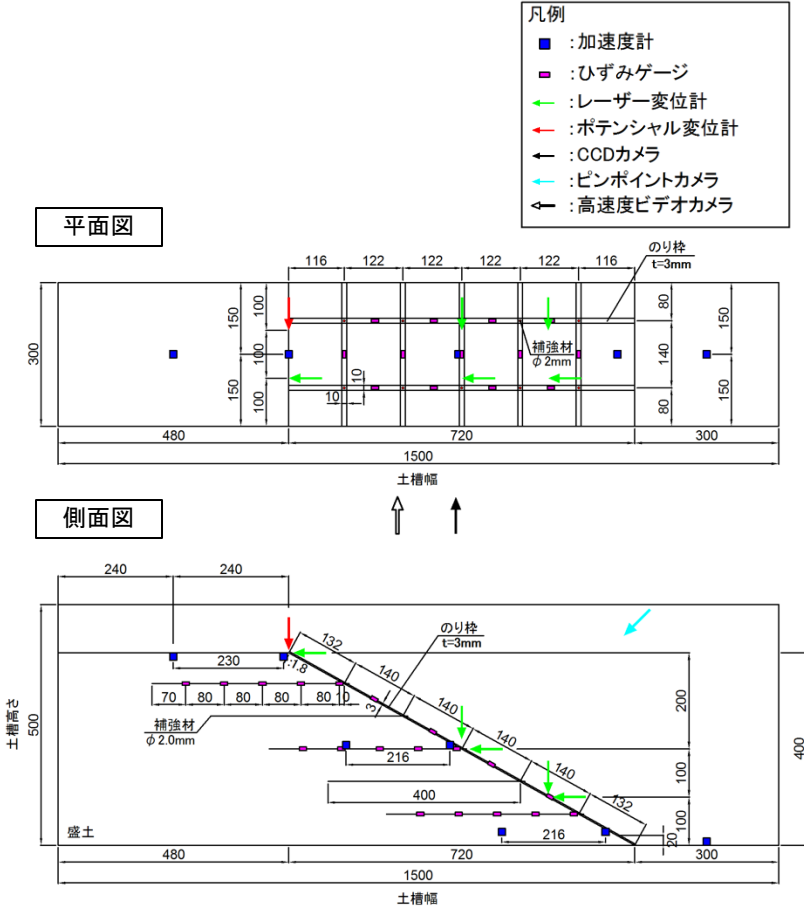
【大型動的遠心力载荷試験装置の概要（土木研究所資料）】

既設盛土のり面補強
対策に関する解析的
検証

八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

session2 大型動的遠心力載荷試験

実験条件



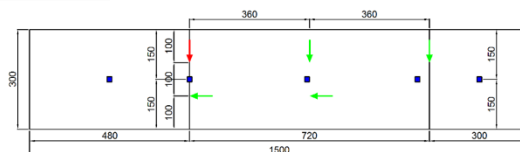
【大型動的遠心力載荷試験 モデル図】

	項目	設定値	備考
模 型	スケール	1/50	実盛土高21m、土槽高0.5mより1/50とした
	遠心加速度	50G	相似則より
盛 土	盛土幅	0.3m	土槽の大きさ
	盛土高	0.4m	実高20mの1/50、小段は模型が煩雑になるので設けない
	法面勾配	1:1.8	
	材料	江戸崎砂	実験用土として市場性のある材料とした 粒径5mm以下にする 色砂（珪砂7号）を一定間隔で格子状に入れる
	含水比	最適含水比	
	締固め度	80%,90%	予備ケースは崩壊状況を確認するため90%とした 予備ケース以降は少しでも崩壊しやすいように締固め度80%とした
	基礎地盤	無	基礎地盤を設けると盛土底面に作用する入力波が変化するため設けない
補 強 材	水位	無	盛土内部（不飽和領域）のすべりを対象とするため設けない
	材料	銅	頭部をのり枠と固定するためのネジ切り加工を行う。ひずみゲージの貼り付ける 補強材の周りに珪砂7号を付着させ、盛土と補強材がなじむようにする
	直径	φ2.0mm	軸剛性が等価な材料を選定
	角度	水平	斜め配置とする場合、補強材が地面に対して水平になるように供試体を30度前倒させながら作製する必要があるが、のり面勾配が60度となり、供試体が作製できないため、水平とした
	長さ	400mm	実長20mの1/50
	のり面上の間隔	140mm	安定計算より設定、実間隔7mの1/50
	のり枠	材料 幅、厚さ	銅 幅10mm 厚さ3mm "
荷 重	入力波	正弦波	分析のし易い正弦波とする
	載荷重	無	地震時は交通荷重を考慮しない

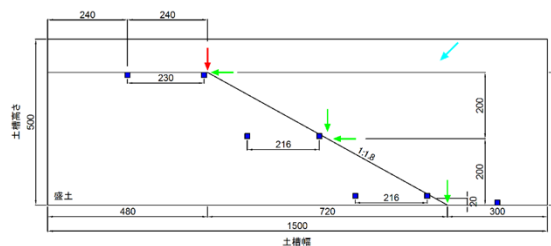
実験ケース

ケース	材料	含水比	締固め度	補強材	備考
予備	砂質土	最適含水比	90%	なし(無対策)	試加振実験※
1	砂質土	最適含水比	80%	なし(無対策)	
2	砂質土	最適含水比	80%	補強材のみ	
3	砂質土	最適含水比	80%	補強材＋のり面工	

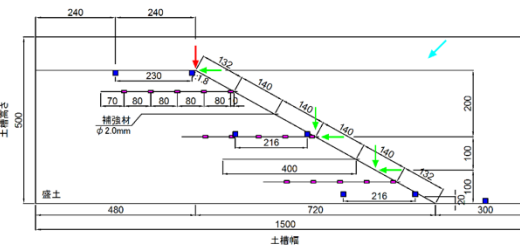
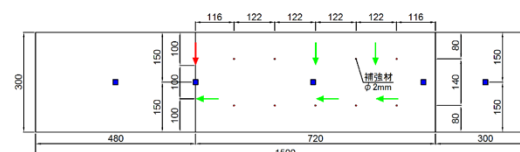
平面图



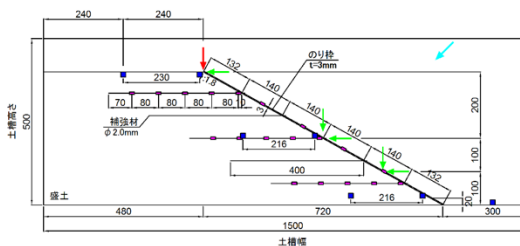
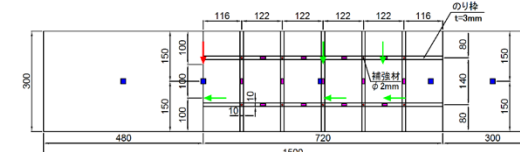
側面図



【CASE1 モデル図】



【CASE2 モデル図】



【CASE3 モデル図】

- 凡例
- : 加速度計
 - : ひずみゲージ
 - ← : レーザー変位計
 - ← : ポテンシャル変位計
 - ← : CCDカメラ
 - ← : ビンポイントカメラ
 - ← : 高速度ビデオカメラ

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

加茂 由紀彦

session2 大型動的遠心力载荷試験

12

試験装置



【動的大型土槽（土木研究所資料）】

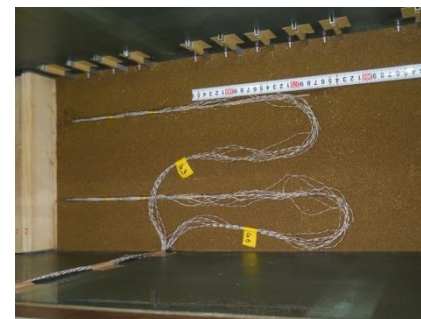
項目	出力項目
大型動的遠心力载荷試験装置	幅300×長さ1500mm×高さ500mm 最大遠心加速度 動的100G 最大加振加速度 40G 加振周波数 10～400Hz
盛土材料	砂質土 1種類（江戸崎砂）
補強材	模擬部材（直径1.8mm程度） 長さ 400mm程度
のり面工	試験条件によりのり砕工の模擬部材を設置



①【含水比調整】



③【締固め状況】



⑤【補強材設置状況】



⑦【標点の作成状況】



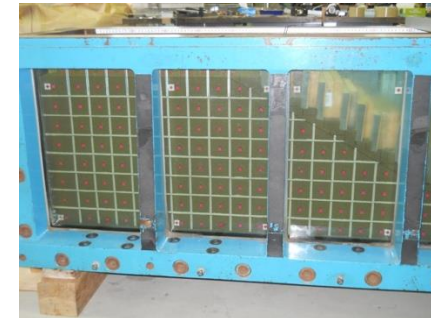
②【敷均し状況】



④【のり面作製状況】



⑥【鉛直メッシュ作製状況】



⑧【メッシュ・標点の作成状況】

既設盛土のり面補強
対策に関する解析的
検証

八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

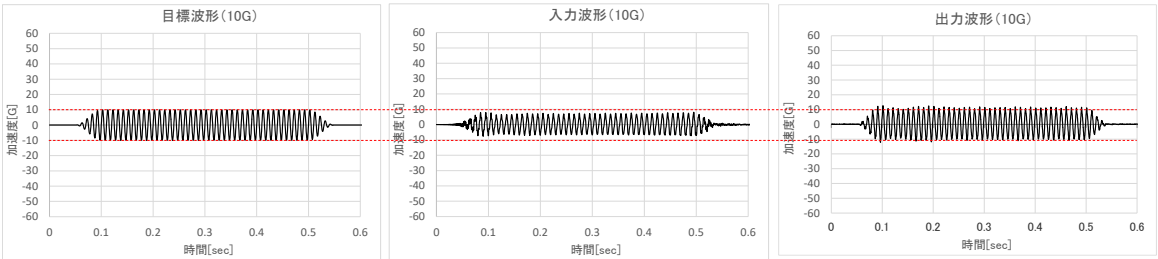
session2 大型動的遠心力载荷試験

入力波形

- ・遠心模型場の相似則として、周波数はN倍、加速度はN倍、加振時間は1/N倍とした。
- ・周波数は、既往事例より2Hzとした。
- ・加速度は、最大0.7Gまで加振する（安定解析では0.3GでFs<1.0）。
- ・加振時間は20秒とした（道路橋示方書のレベル2地震動の作用時間10～20秒を参考）。
- ・予備ケースにおいて、入力波形の調製を行う。

ケース	波形	周波数	加速度	加振時間
予備	正弦波	100Hz (2Hz)	5～35G (0.1～0.7G)	5～25G：5Gアップ/0.4sec (0.1Gアップ/20sec) 30G、35G：1加速度あたり0.4sec (20sec)
1～3	〃	〃	10、20、30、35G (0.2、0.4、0.6、0.7G)	1加速度あたり0.4sec (20sec)

※()内は1G場のときの値



【入力波の補正 10Gの例】

物 理 量		重力場模型	遠心場模型	備 考
長 さ		1/N	1/N	幾何学的縮尺 1/N 模型
面 積		1/N ²	1/N ²	
体 積		1/N ³	1/N ³	
単位体積重量		1	N	
自 重		1/N ³	1/N ²	
応 力		1/N	1	間隙水圧を含む
力		1/N ³	1/N ²	
毛管上昇高		1	1/N	
エネルギー密度		1	N	
ひ ず み		1/N	1	
変位	全体変形	1/N ²	1/N	ひずみの積分値
	局所変形	1/N ² ~1	1/N~1	すべりの発生
加 速 度		1	N	加速度
速 度		√N	1	
時間	動 的	1/√N	1/N	加振時間
	拡 散	1/N ²	1/N ²	
	クリープ	1	1	
周 波 数		√N	N	周波数

(注) 実物の諸量を1とする。重力場の模型は応力依存性のない弾性体。

【出典】地盤工学ハンドブックp. 427 ((社)地盤工学会H11.3)

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

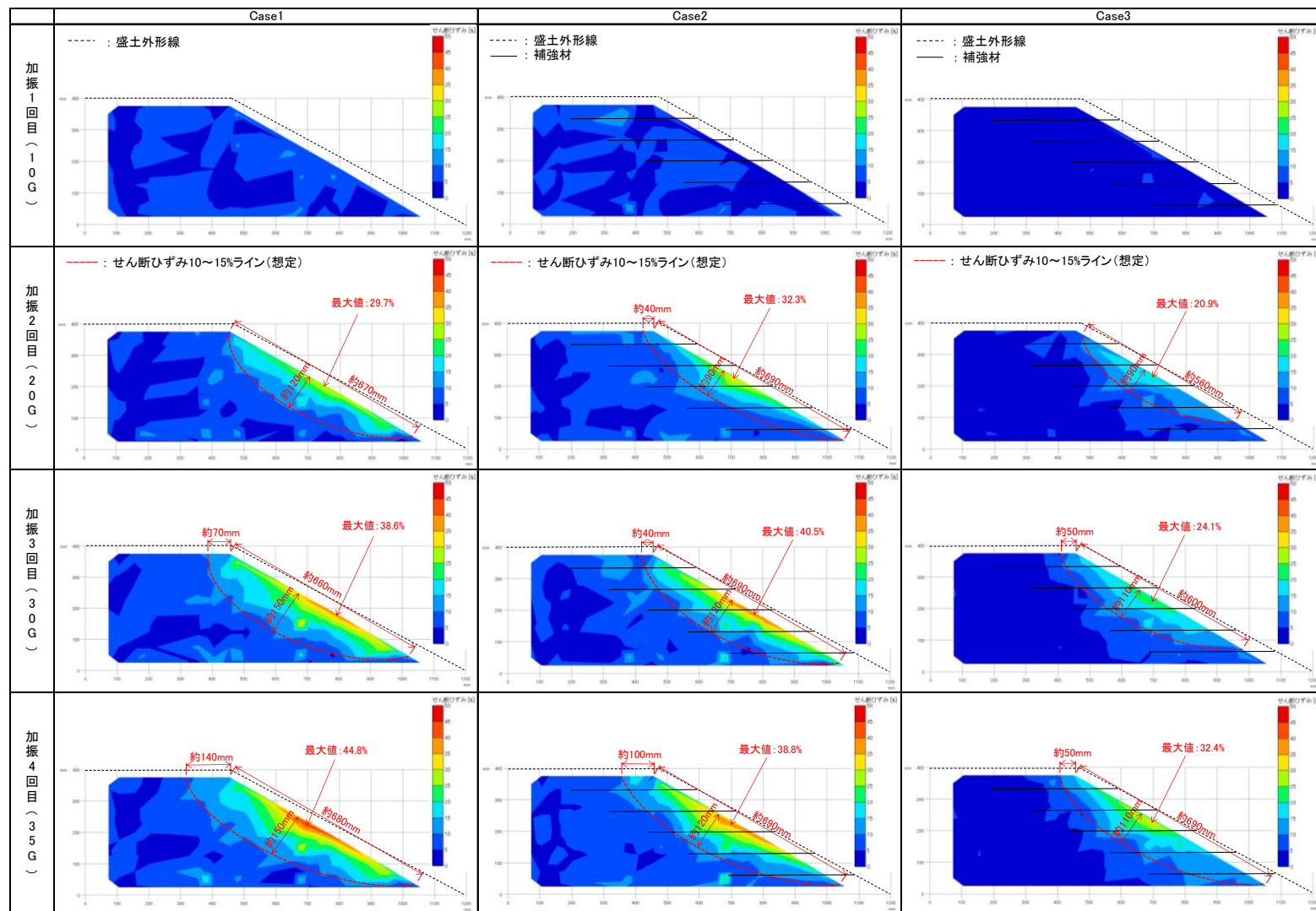
加茂 由紀彦

session2 大型動的遠心力载荷試験

14

実験結果

【標点・色砂メッシュの移動量から求めた盛土のせん断ひずみ分布図（揺すり込み沈下除去）】



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

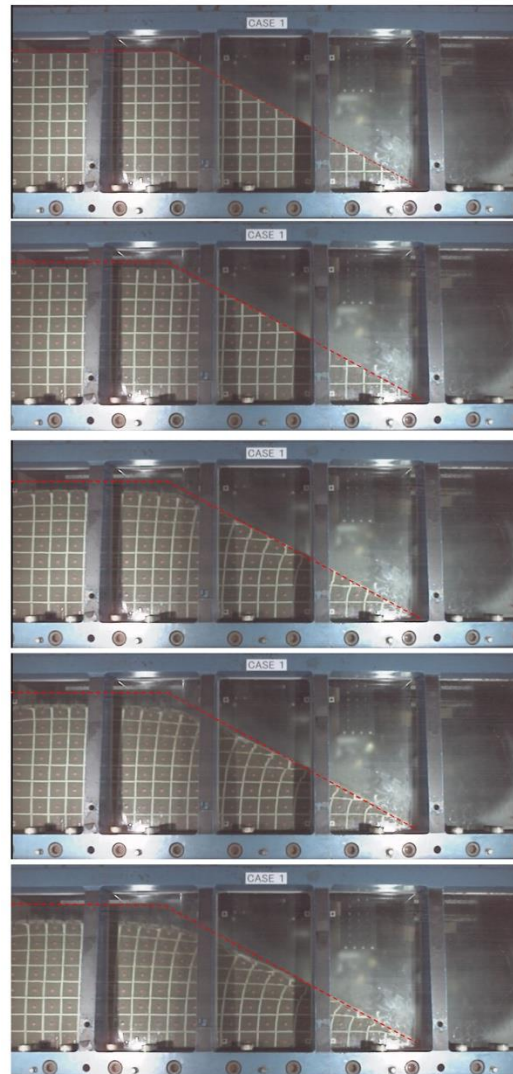
八千代エンジニアリング
株式会社

加茂 由紀彦

session2 大型動的遠心力载荷試験

15

実験結果



加振前 (Case1)
(Dc=80%)

加振後 (加振 1 回目)
(10G)

加振後 (加振 2 回目)
(20G)

加振後 (加振 3 回目)
(30G)

加振後 (加振 4 回目)
(35G)



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

加茂 由紀彦

session2 大型動的遠心力载荷試験

16

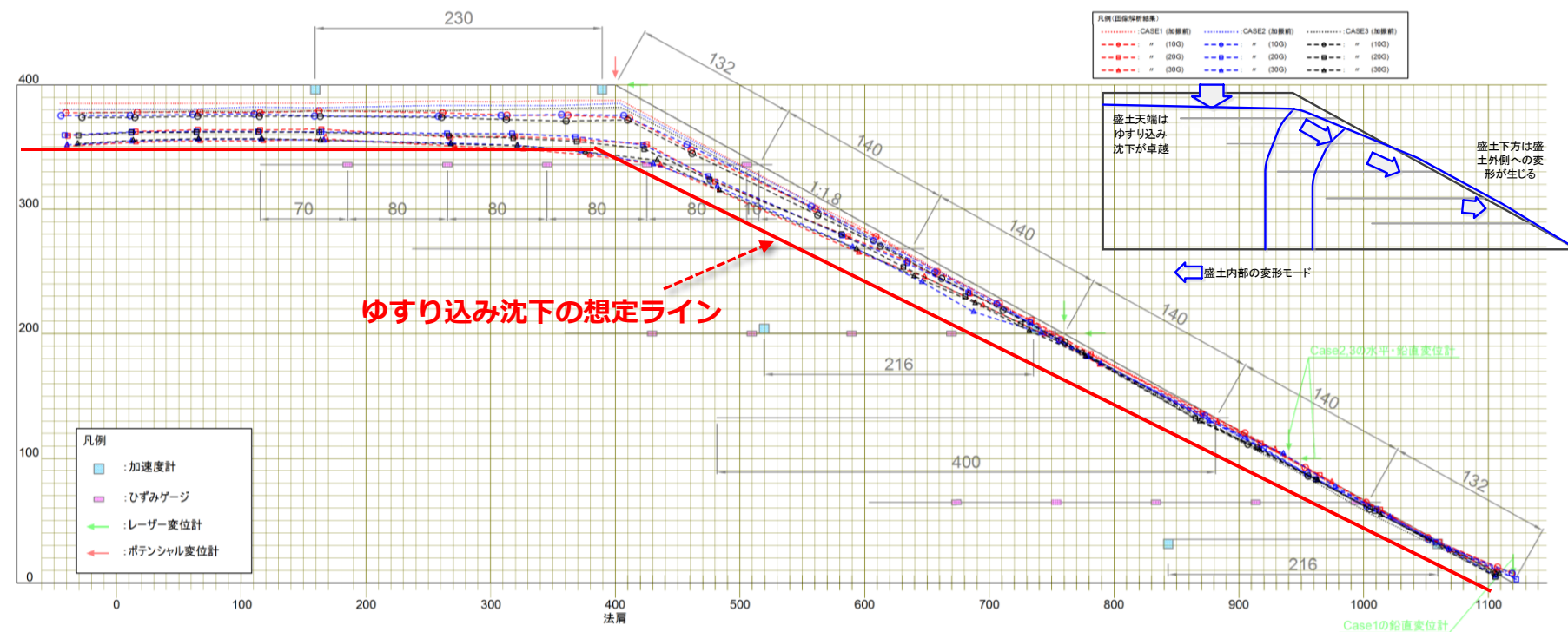
実験結果

【盛土表面の変位量】

- ・盛土天端、のり肩付近は、遠心及び加振に伴うゆすり込み沈下が生じている。
- ・盛土上方が沈下した分、下方では盛土前面にはらみ出している
- ・盛土形状で見ると、ゆすり込み沈下のオーダーが大きい
- ・CASE1～CASE3の差は殆んど見られない。

【盛土内部の変位量】

- ・盛土の水平変位量は、CASE1 > CASE2 > CASE3の順に抑えられている（補強材、のり枠の抑制効果を確認）。
- ・盛土の鉛直変位量は、ほぼゆすり込み沈下によるもので、補強材、のり枠による鉛直変位の抑制効果は殆んど見られない。



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

加茂 由紀彦

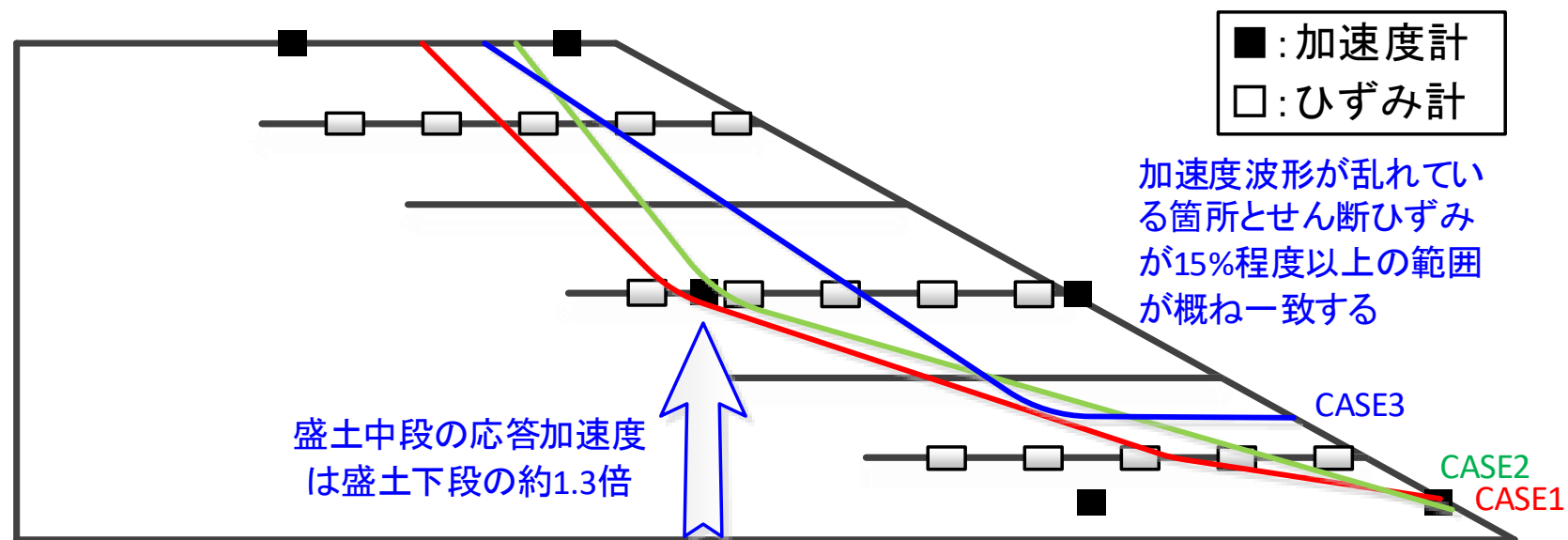
session2 大型動的遠心力载荷試験

17

実験結果

【盛土表面の変位量】

- 盛土の加速度は、上方に向かって増加する傾向にある。盛土下方と中央では約1.3倍に増加している。
- 盛土のせん断ひずみが15%程度を超えると加速度波形に乱れが生じる傾向がある。
- 加速度が乱れていない波形でCASE1～CASE3の違いを見ると、有意な差は見られなかった。



(20G加振時のせん断ひずみ15%ライン)

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

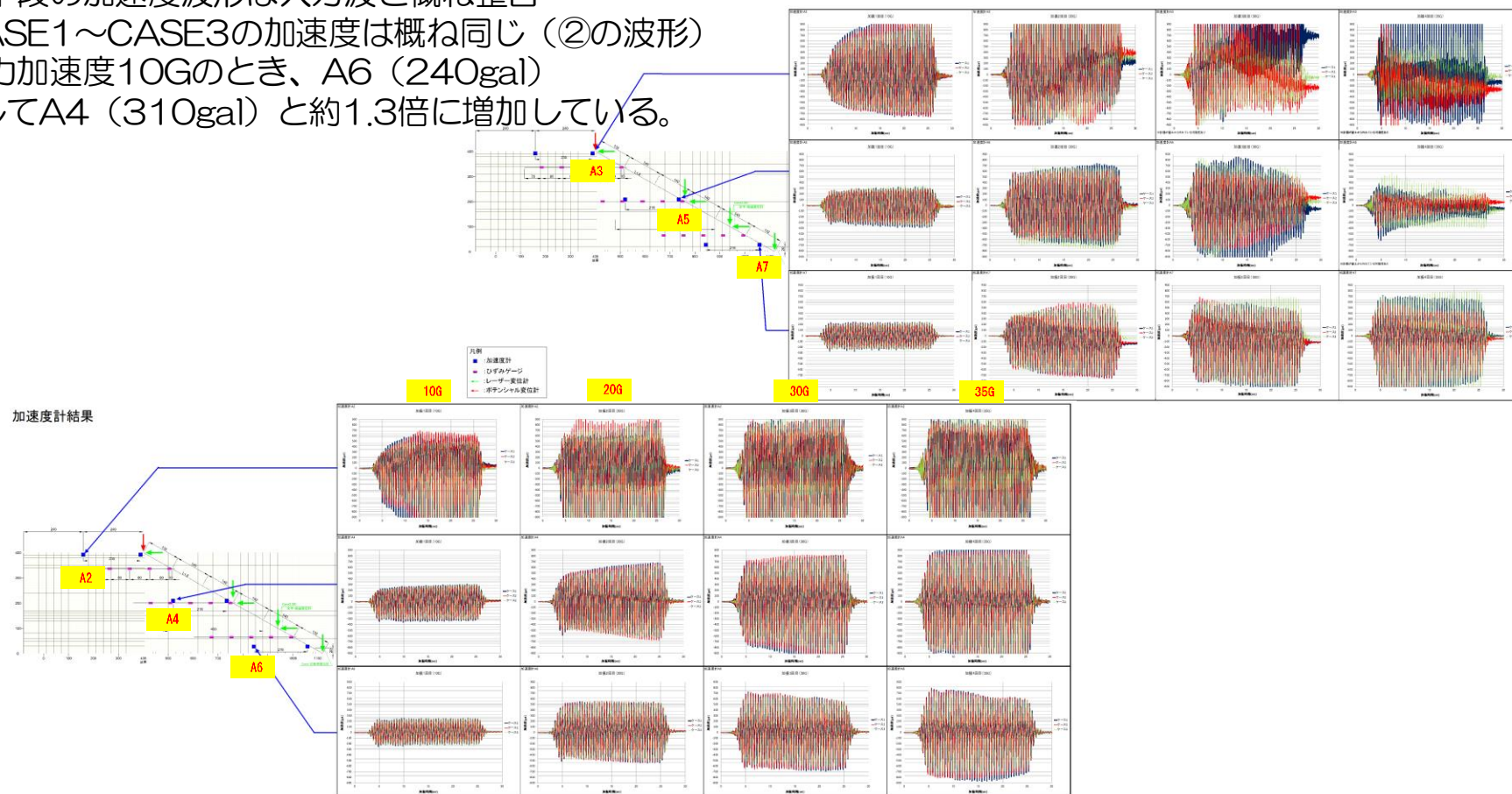
加茂 由紀彦

session2 大型動的遠心力载荷試験

18

実験結果

- ① 波形に乱れがある（盛土にゆるみやクラック、加速度計の固定が緩んでいる可能性）
- ② 加速度波形があまり乱れていない加速度計（A7[10G]、A6[10G~30G]、A5[10G]、A4[10G~30G]）
- ③ 最下段の加速度波形は入力波と概ね整合
- ④ CASE1~CASE3の加速度は概ね同じ（②の波形）
- ⑤ 入力加速度10Gのとき、A6（240gal）に対してA4（310gal）と約1.3倍に増加している。



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

加茂 由紀彦

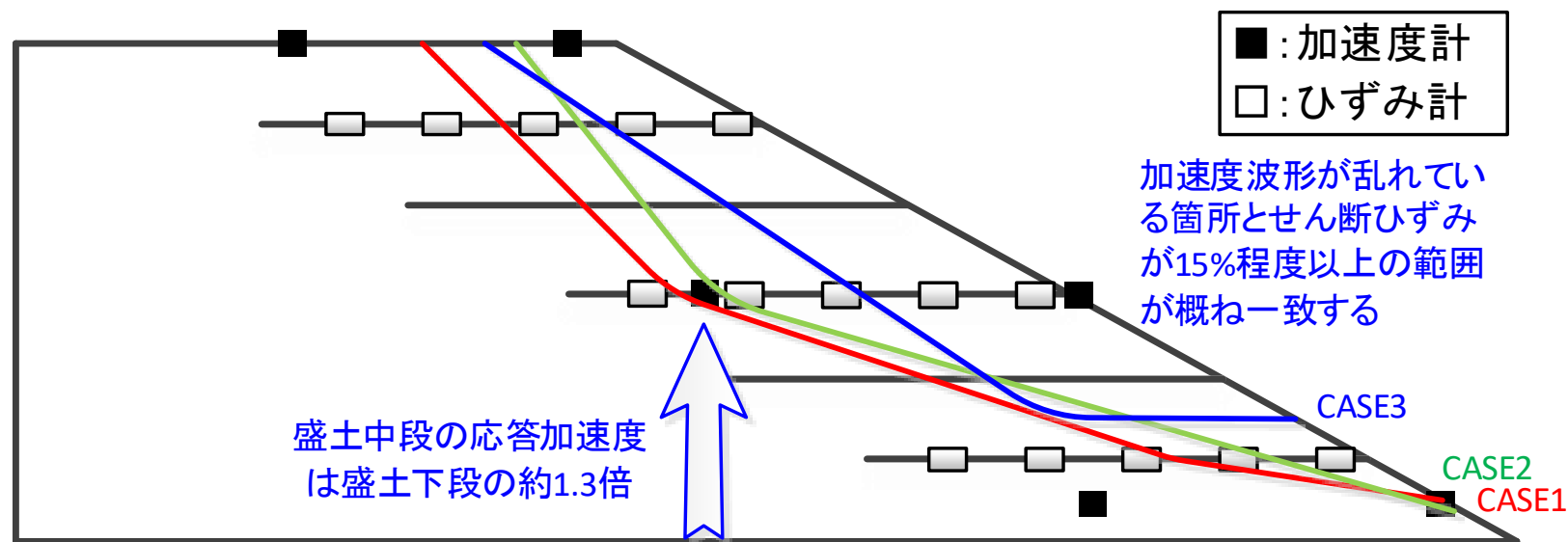
session2 大型動的遠心力载荷試験

19

実験結果

- 加速度計の波形が乱れと、せん断ひずみの違いを確認した
- せん断ひずみが15%程度以下のときは加速度波形に乱れが生じていない。
⇒せん断ひずみが15%程度を超えたあたりから、盛土が徐々に塑性化しはじめていると推測される。

せん断ひずみ15%より外側は乱れが少ない



(20G加振時のせん断ひずみ15%ライン)

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

加茂 由紀彦

session2 大型動的遠心力载荷試験

20

実験結果

- 左右（正面左側と正面右側）で同じ傾向を示していない場合がある（特に圧縮・引張が逆になっている等）
- このような傾向を示す箇所は、盛土材が左右で違う動きをしていることは考えにくいこと
→ ひずみゲージの設置誤差によるものが大きいと考えられる
→ また左右どちらの観測結果が正しいかも判断しがたいことから、観測結果の分析にあたっては、両者が同じ傾向を示す観測点をメインに行う。
- 全体の傾向として、CASE2（補強材のみ）は、全体的に引張モードになり、補強材頭部の軸力がほぼゼロ、盛土奥側で最大になる傾向がある。
- CASE3（補強材+のり枠）は、上中段補強材が全体的に圧縮モード、下段補強材が引張モードになり、上中下段とも補強材頭部付近で最大となる傾向にある。



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

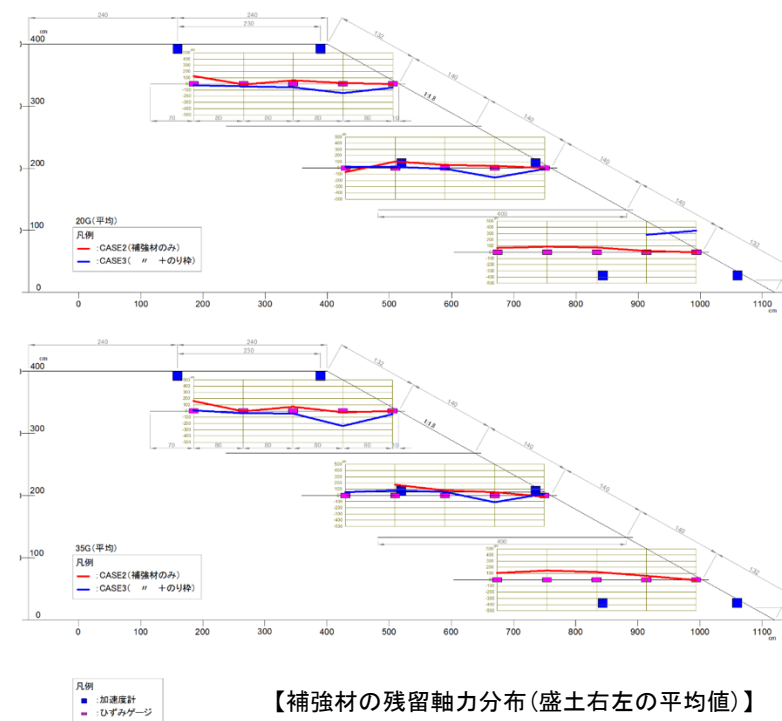
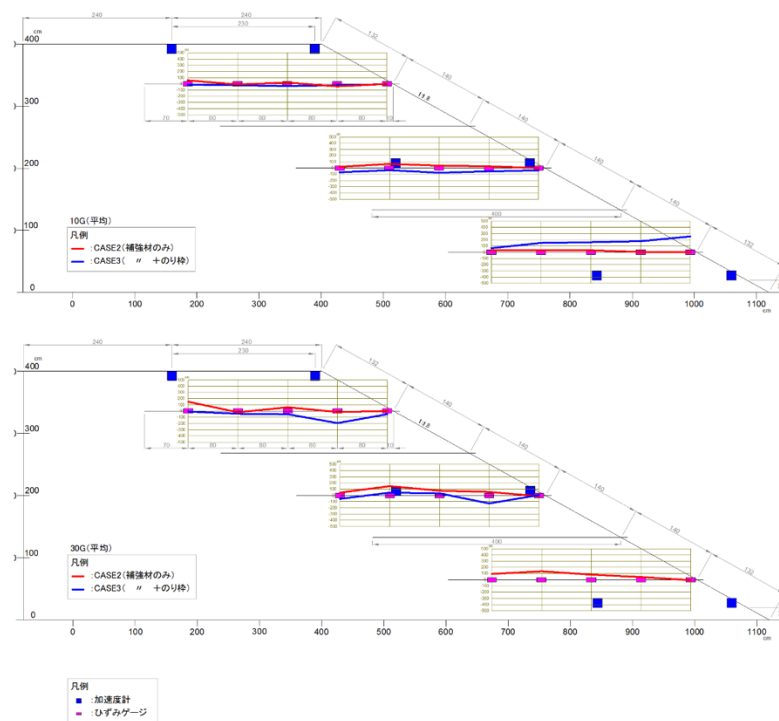
加茂 由紀彦

session2 大型動的遠心力载荷試験

21

実験結果

- ① 左右補強材の軸力の発現傾向が異なる箇所があるので、左右の平均値を用いて考察する
- ② 両者の平均値なので左右で圧縮・引張の値が出ている箇所は小さい値になっている。
- ③ CASE2とCASE3で残留軸力の発生傾向が異なる。
- ④ CASE2の場合、補強材頭部の軸力はほぼゼロで、補強材奥側に向かって増加する傾向を示す。
- ⑤ CASE3の場合、上中段補強材は全体的に圧縮モード、補強材頭部付近で最大値を示す。
- ⑥ 下段補強材は全体的に引張モードを示す。
- ⑦ 盛土表面部の土が下方に移動しようとしているので補強材の盛土奥側でそれを支えようと抵抗していることが想定される。



【補強材の残留軸力分布(盛土右左の平均値)】

既設盛土のり面補強対策に関する解析的検証

八千代エンジニアリング株式会社 加茂 由紀彦

MIDAS × YACHIYO

session3

実験再現モデルの構築



MIDAS 建設分野
ユーザー解析事例発表会

既設盛土のり面補強対策に
関する解析的検証

八千代エンジニアリング株式会社
加茂 由紀彦

session3

実験再現モデルの構築

目的

解析フロー

解析条件

解析結果

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

session3 実験再現モデルの構築

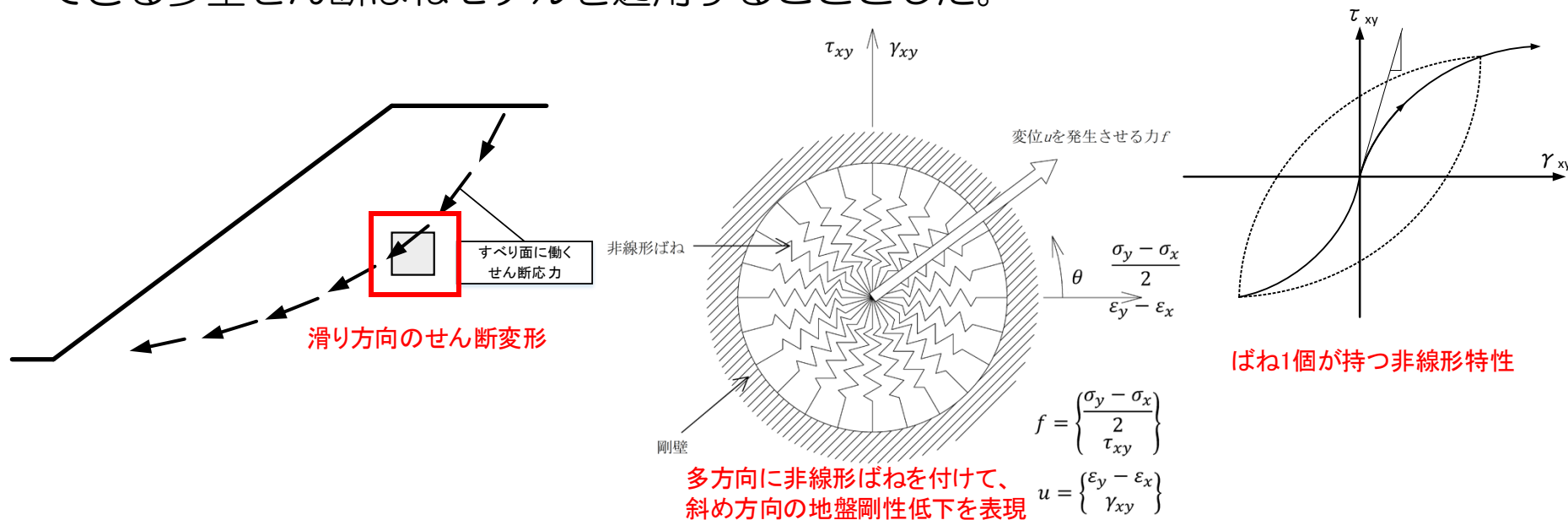
24

目的

実際の盛土を想定した盛土の地震時応答解析を行うため、大型動的遠心力载荷試験を再現できる解析モデルを構築する。

解析手法

解析では盛土の崩壊過程（滑り方向のせん断変形）をトレースできる解析手法を用いる必要がある。そこで滑り方向のせん断変形に対して、地盤剛性の低下を表現できる多重せん断ばねモデルを適用することとした。



【入力波の補正 10Gの例】

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

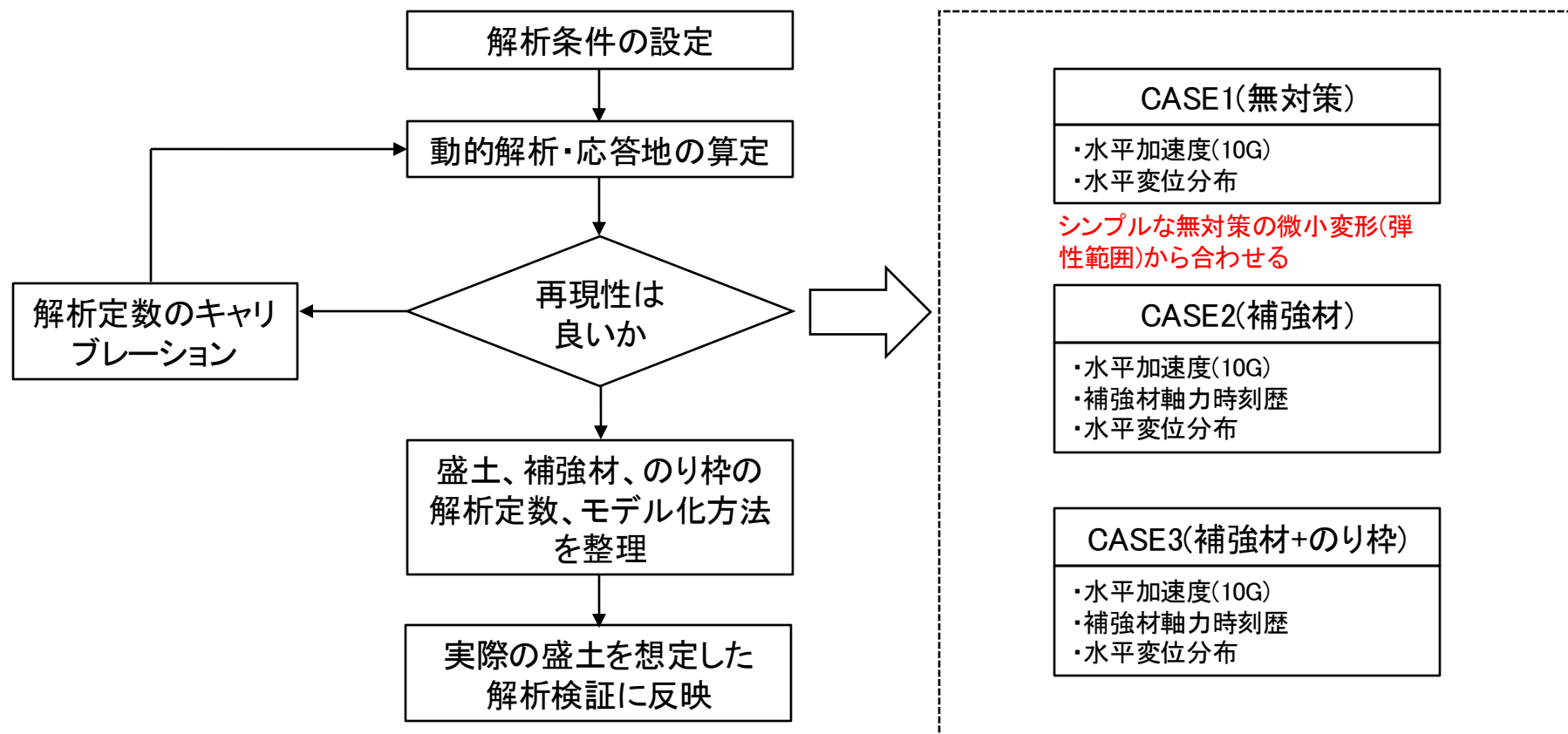
session3 実験再現モデルの構築

25

解析プログラム

SOILWORKS for FLIP

解析フロー



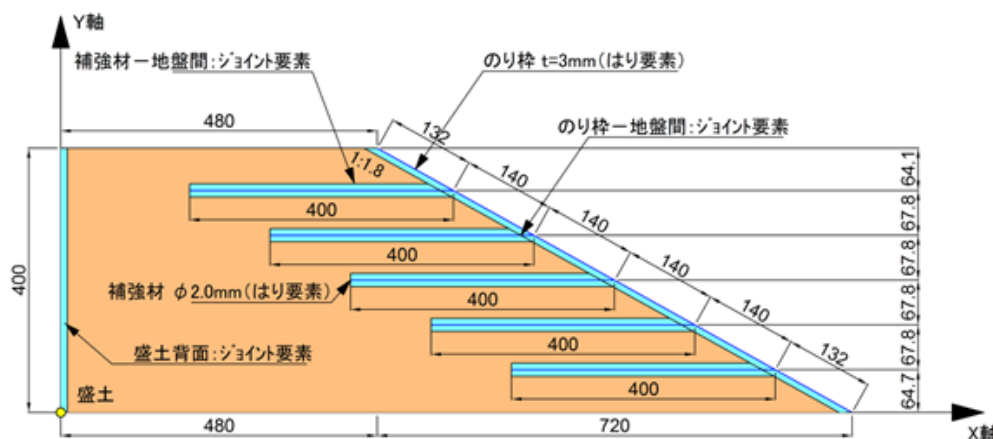
既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

session3 実験再現モデルの構築

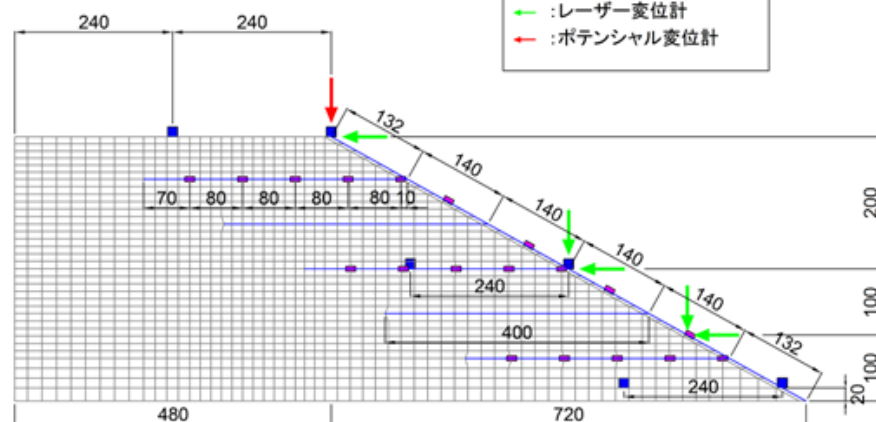
26

解析モデル



凡例

■	: 加速度計
■	: ひずみゲージ
→	: レーザー変位計
→	: ポテンシャル変位計



項目	使用要素
盛土	平面ひずみ要素
補強材	線形はり要素
のり枠	線形はり要素
補強材-盛土相互作用	ジョイント要素
のり枠-盛土相互作用	ジョイント要素
盛土背面境界	ジョイント要素

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

session3 実験再現モデルの構築

27

解析定数

- ・実験は江戸崎砂を使用
- ・定数をキャリブレーションした最も再現性の良い定数を示す。

土質	単位 体積 重量	間隙率	変形特性								
			ポアソン 比	初期 せん断 剛性	体積 弾性 係数	基準 拘束圧	拘束圧 依存 係数	拘束圧 依存 係数	内部 摩擦角	粘着力	履歴 減衰 定数
	γ_t (kN/m ³)	n	ν	G_{ma} (kN/m ²)	K_{ma} (kN/m ²)	σ'_{ma} (kN/m ²)	m_G	m_K	ϕ_f (°)	c (kN/m ²)	h_{max}
盛土	15.4	0.500 (※1)	0.33 (一般値)	9.0×10^4 (※2)	2.4×10^4 (※3)	190 (※4)	0.5 (一般値)	0.5 (一般値)	30.0 (※5)	11.6 (※6)	0.30 (※7)

※1：試験値

※2：キャリブレーション(初期せん断剛性を求める試験を実施していない)

※3： G_{ma} を用いて、 $K_{ma} = (2 \times G_{ma} \times (1 + \nu)) \div (3 \times (1 - 2 \times \nu))$ の関係式を用いて算出。

※4：盛土の中央での有効拘束圧

※5：キャリブレーション

※6：キャリブレーションした ϕ と、三軸試験結果から逆算



【江戸崎砂】

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

加茂 由紀彦

session3 実験再現モデルの構築

28

解析定数

材料	仕様	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	変形係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	断面積 A (m ²)	断面二次 モーメント I (m ⁴)
補強材	$\phi 2.0\text{mm}$ $L=400\text{mm}$ 間隔140mm	87.6 (※1)	1.18×10^8 (※1)	0.343 (※2)	2.094×10^{-5} (※3)	2.094×10^{-12} (※4)
のり枠	幅10mm 厚さ3mm	87.6 (※1)	1.18×10^8 (※1)	0.343 (※2)	2.094×10^{-5} (※3)	2.094×10^{-12} (※4)

※1 動的遠心力載荷試験に使用した銅の製品情報(三菱伸銅)から設定。

※2 製品情報にはないため、「理科年表 平成28年(自然科学研究機構 国立天文台編)」より設定。

※3 奥行1.0(m)あたり(補強材1本あたりの断面積×本数÷盛土奥行き幅0.3(m))の断面積。

※4 奥行1.0(m)あたり(のり枠1本あたりの断面積×本数÷盛土奥行き幅0.3(m))の断面二次モーメント。



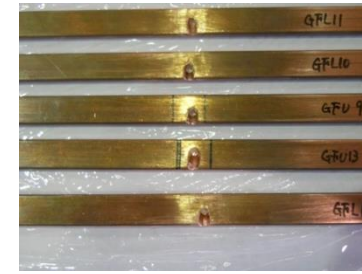
銅製の丸棒



ネジ切りした丸棒



縦、横のり枠材



横のり枠固定用穴



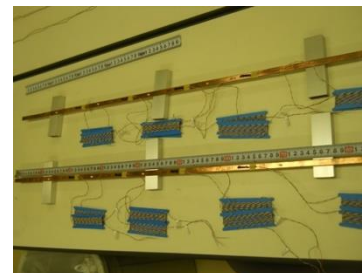
珪砂接着状況



補強材完成(ひずみゲージ付)



縦のり枠固定用穴



縦のり枠全景

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

session3 実験再現モデルの構築

29

解析定数

材料	法線方向 剛性 k_n (kN/m ³)	接線方向 剛性 k_s (kN/m ³)	粘着力 c_J (kN/m ²)	内部 摩擦角 ϕ_J (°)
補強材と盛土	3.6×10^8 (※1)	9.0×10^7 (※1)	0.5 (※3)	1.3 (※3)
のり枠と盛土	3.6×10^8 (※1)	0.0 (※2)	0.0 (※2)	0.0 (※2)
盛土背面	3.6×10^8 (※1)	9.0×10^7 (※1)	11.6 (※4)	30.0 (※4)

※1 キャリブレーション後の盛土の初期せん断剛性を用いて、文献「動的解析と耐震設計第2巻 動的解析の方法」p.124~125 より設定。

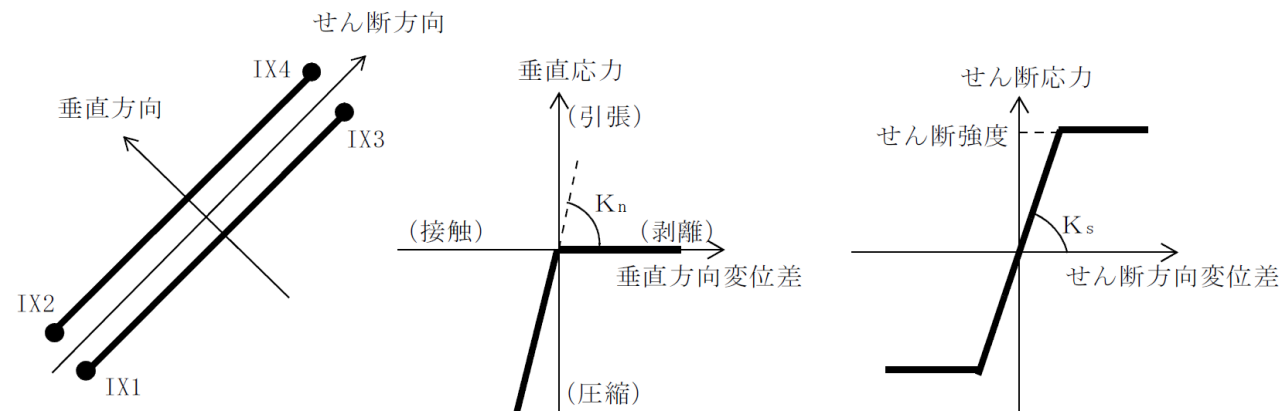
※2 実験では盛土とのり枠は接触していないため、摩擦力は考慮しない。

※3 接触面積を考慮したせん断強度を設定。

※4 盛土と同じ物性値を設定。

$$\tau_f = C + \sigma_n \tan \phi_J$$

【ジョイント要素の考え方】



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

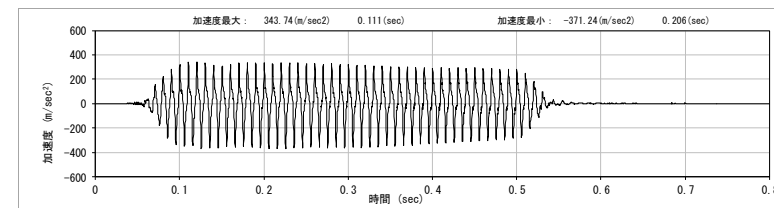
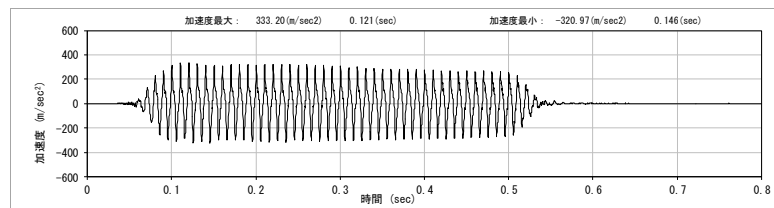
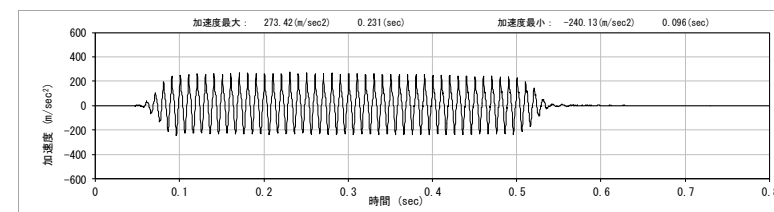
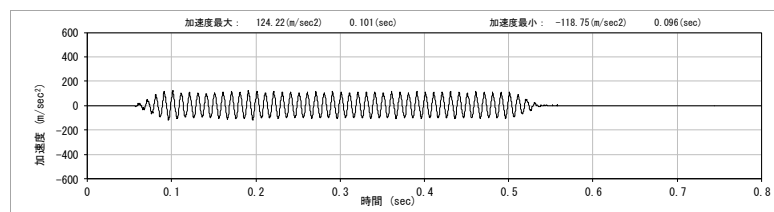
加茂 由紀彦

session3 実験再現モデルの構築

30

解析ステップ・入力波

解析ステップ		荷重		備考
		水平方向	鉛直方向	
1	遠心力载荷	—	50G	遠心力はかけた状態で 変位だけをゼロクリア
2	10G加振	実験の計測波	—	—
3	20G加振	実験の計測波	—	ステップ2の結果引継
4	30G加振	実験の計測波	—	ステップ3の結果引継
5	35G加振	実験の計測波	—	ステップ4の結果引継



【入力波形 CASE1 (無対策) の例】

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

加茂 由紀彦

session3 実験再現モデルの構築

31

解析結果

- ・キャリブレーションによる再現解析は、以下の方針とした
 - ① 応答値の小さい範囲(ひずみレベルの小さい範囲)の加振時（10G、20G）における水平加速度を再現した
 - ② ゆすり込み沈下は再現できないため、ゆすり込み沈下の影響を受けている変位、のり枠の断面力は参考程度とした
- ・ただし、水平変位分布、最大せん断ひずみ分布等から、補強材とのり枠の補強効果の確認と、応力集中や局所的な変位の発散がないかの確認を行う。

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

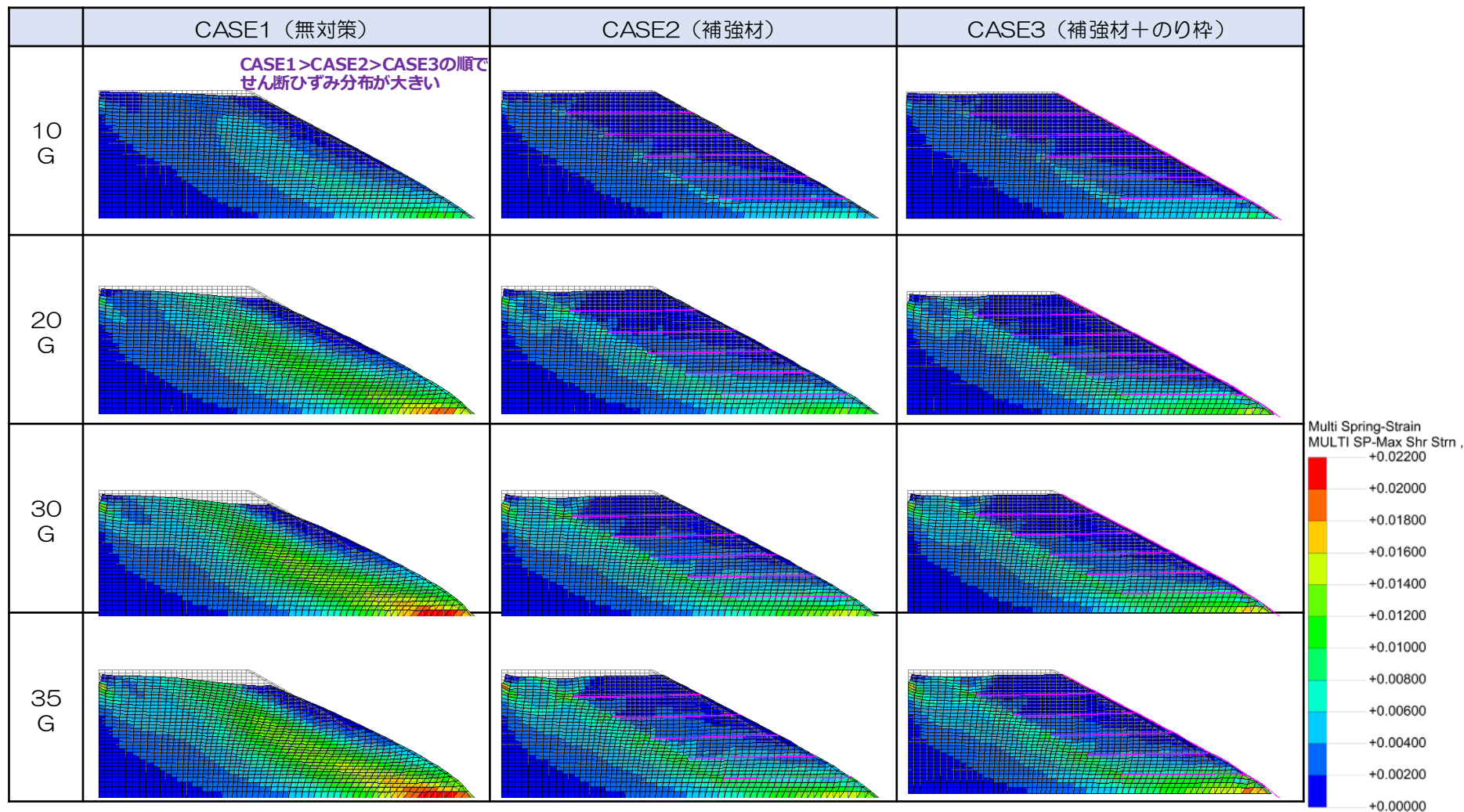
加茂 由紀彦

session3 実験再現モデルの構築

32

解析結果

【最大せん断ひずみ分布】



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

加茂 由紀彦

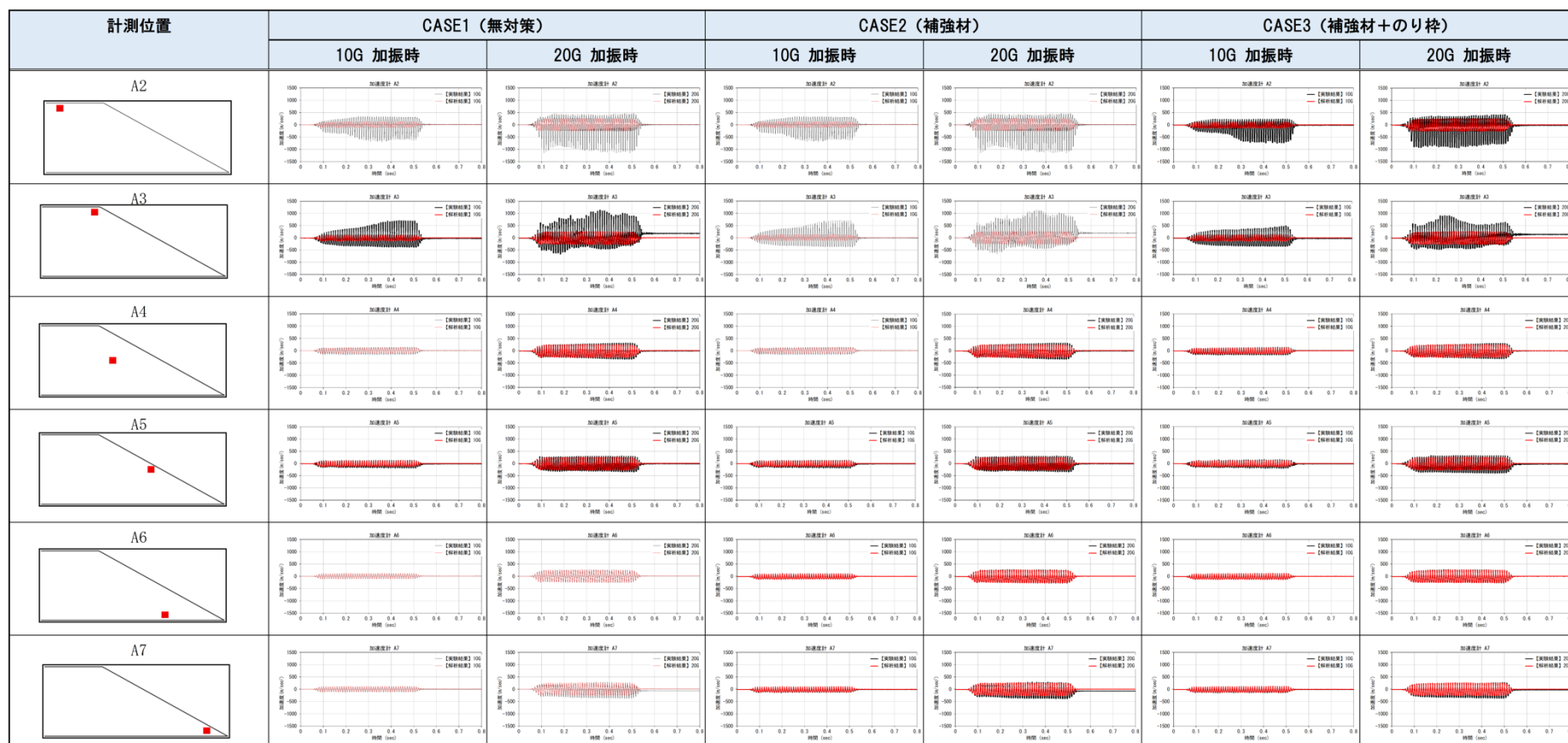
session3 実験再現モデルの構築

33

解析結果

- ・盛土天端（加速度計A2, A3）は、地表のクラックの影響を受けて加速度に乱れが生じているため再現できない
- ・全ケースにおいて、盛土中央（加速度計A4, A5）と盛土底面（加速度計A6, A7）の10G、20G加振時における水平加速度は、概ね再現できている。

【加速度応答時刻歴】



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

加茂 由紀彦

session3 実験再現モデルの構築

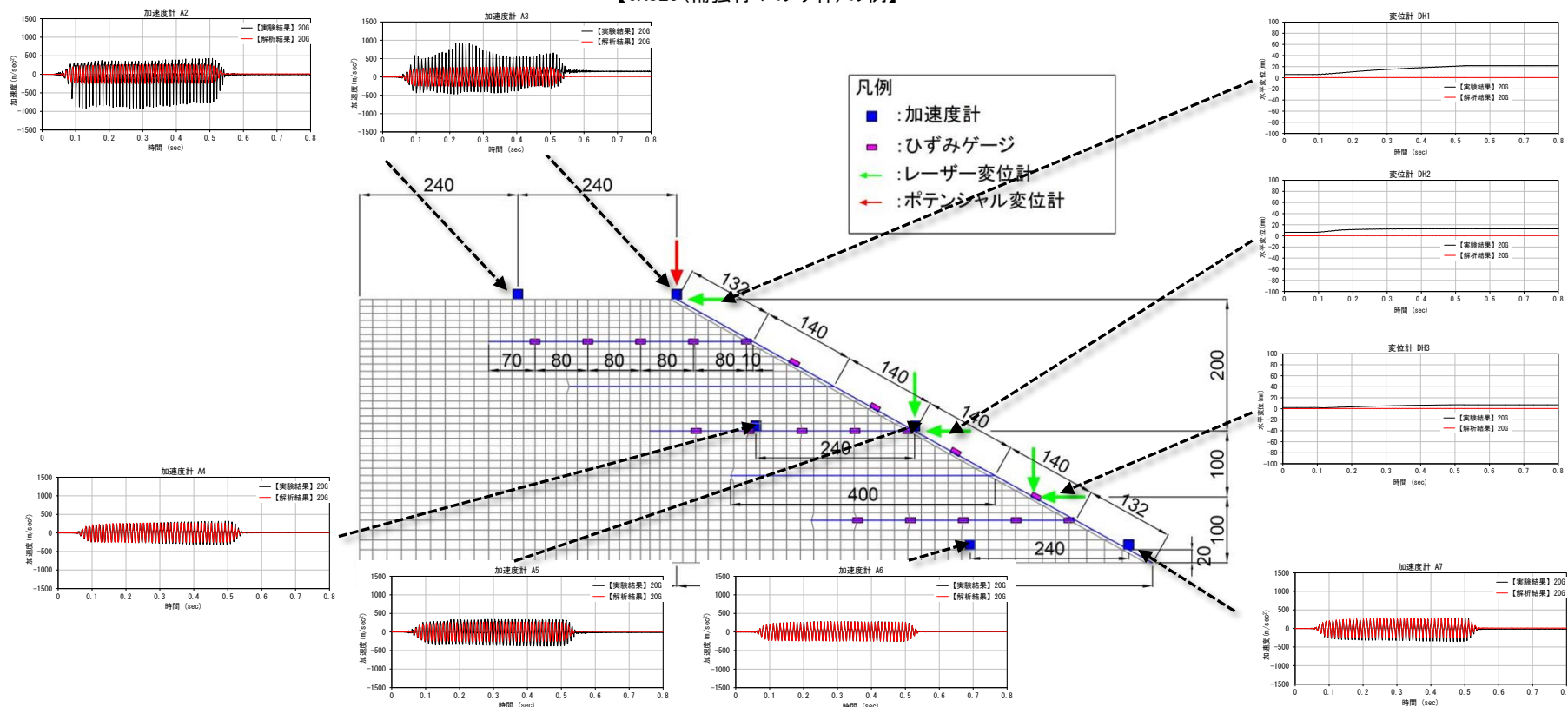
34

解析結果

- 盛土下部の加速度は概ね再現できている
- 盛土上部の計測加速度は、クラックの影響により計測不良が生じている
- 変位は再現できない（実験ではゆすり込み沈下が大きく、それに伴い水平変位量も大きい）

実験は計測不良(クラックの影響?)

【CASE3(補強材+のり枠)の例】



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

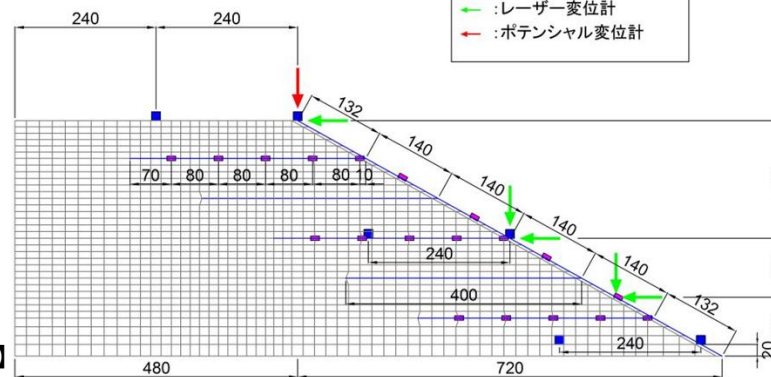
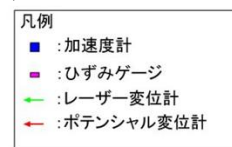
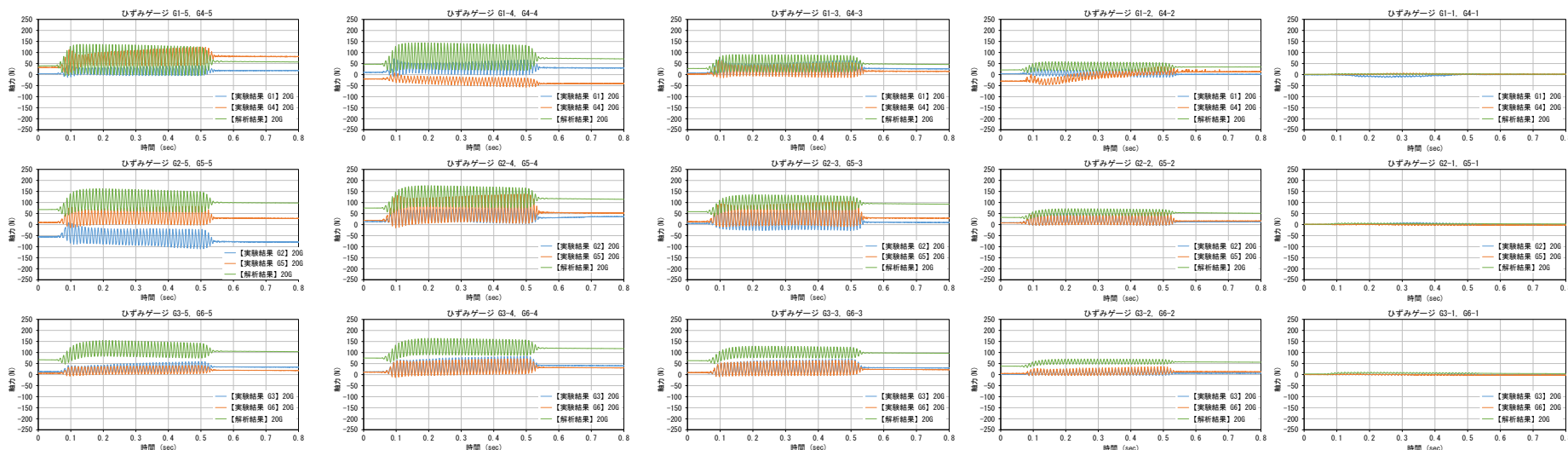
加茂 由紀彦

session3 実験再現モデルの構築

35

解析結果

- ・振幅は概ね再現できている
- ・実験の補強材軸力はゆすり込み沈下の影響を受けているため、解析で再現できない



【CASE2(補強材)の例】

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

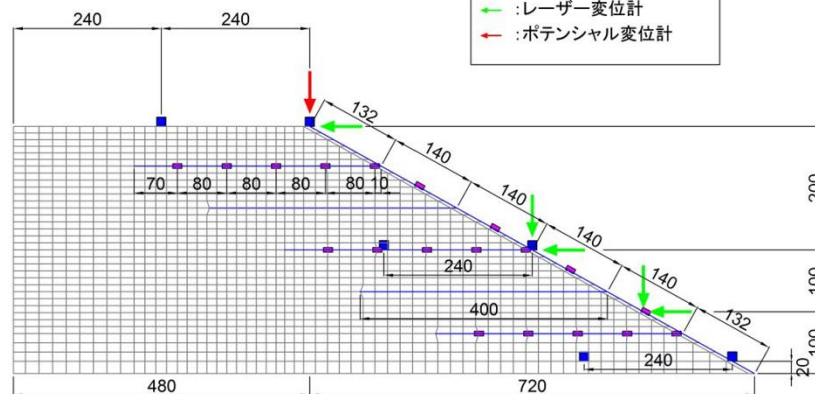
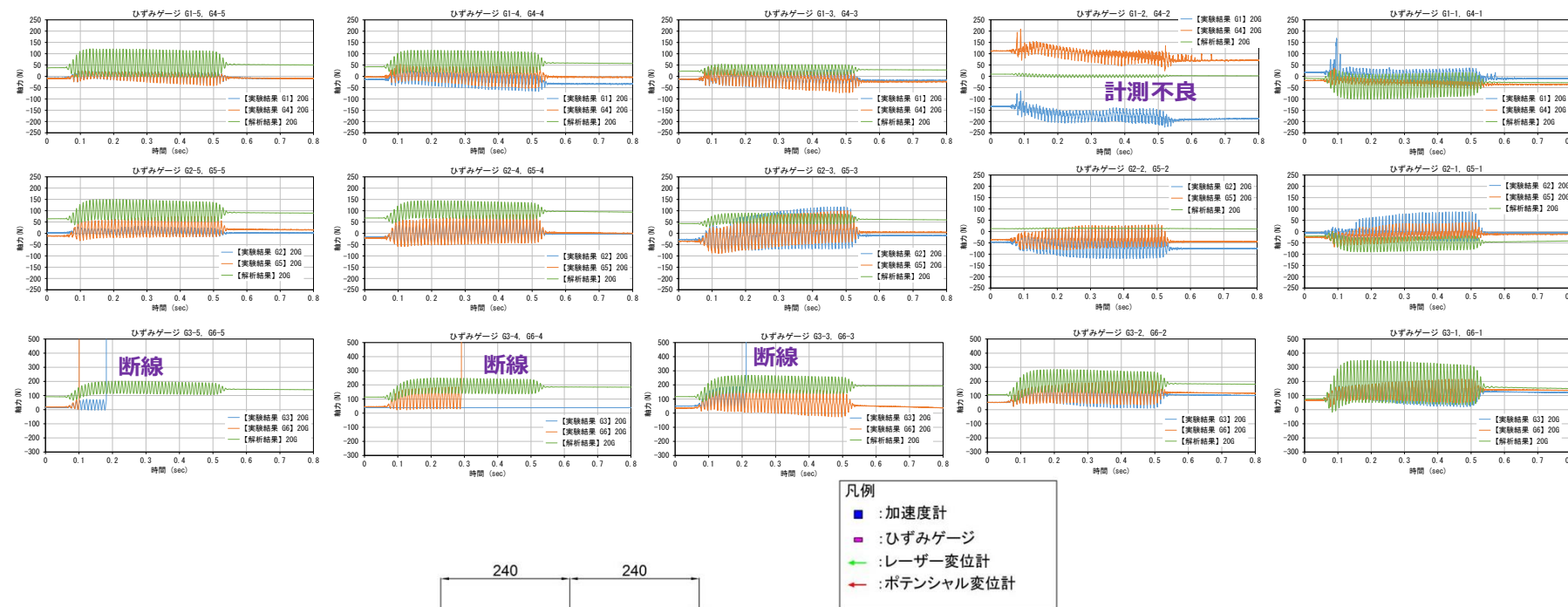
八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

session3 実験再現モデルの構築

36

解析結果

- 実験の補強材軸力はゆすり込み沈下の影響を受けているため、解析で再現できない



【CASE3(補強材+のり枠)の例】

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

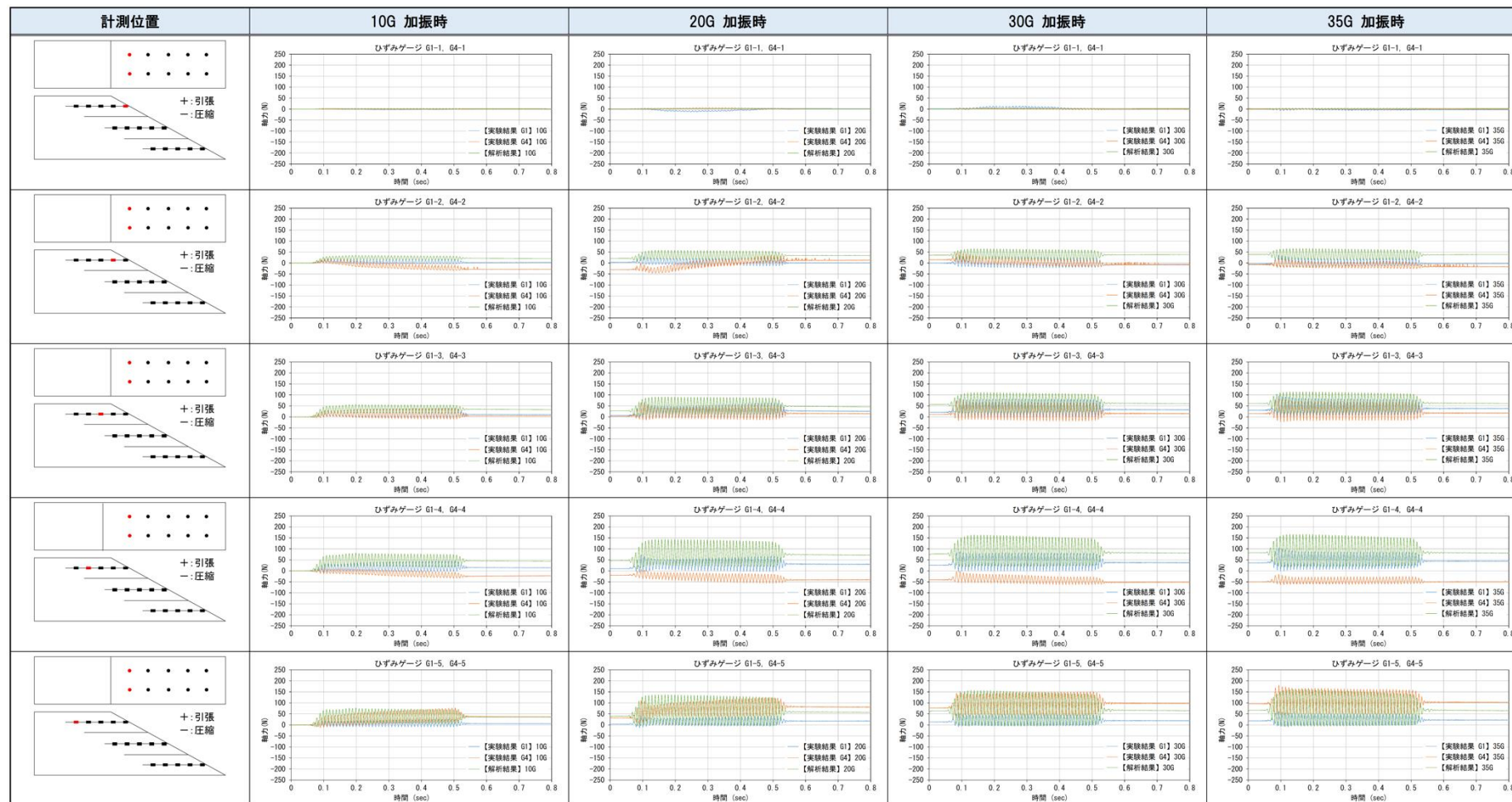
session3 実験再現モデルの構築

37

解析結果

- 補強材軸力時刻歴において、CASE2（補強材）、CASE3（補強材+のり枠）とも軸力の振幅は概ね再現できている
- 残留軸力は再現できていない

【補強材軸力時刻歴の例（最上段の補強材）】



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

加茂 由紀彦

session3 実験再現モデルの構築

38

まとめ

- ・当初条件では再現性を得ることができなかったため、再現方針を10G、20G加振時の水平加速度の再現を行うこととした。
- ・解析定数のキャリブレーションにより再現性を得ることができたため、モデル化方法を解析検証1への反映させて検討を行った。

既設盛土のり面補強対策に関する解析的検証

八千代エンジニアリング株式会社 加茂 由紀彦

MIDAS × YACHIYO

session4

補強材配置、のり枠の補強効果の検証



MIDAS 建設分野
ユーザー解析事例発表会

既設盛土のり面補強対策に 関する解析的検証

八千代エンジニアリング株式会社
加茂 由紀彦

session4

補強材配置、 のり枠の補強効果の検証

目的

解析フロー

解析条件

解析結果

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

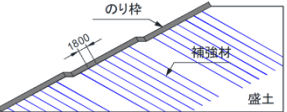
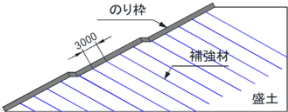
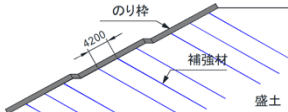
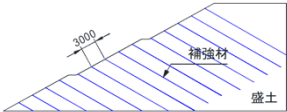
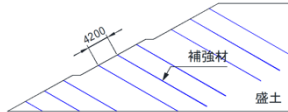
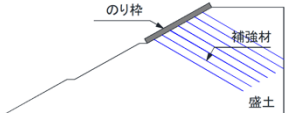
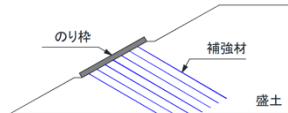
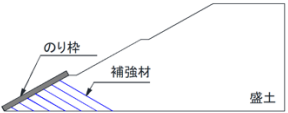
八千代エンジニアリング
株式会社

加茂 由紀彦

session4 補強材配置、のり枠の補強効果の検証

41

解析ケース

	ケース	モデル概要	補強材			のり枠
			長さ	間隔	配置	
無対策	1-1		なし			なし
補強材間隔の検討	2-1		20m	1.8m	均等	あり
	2-2		〃	3.0m	〃	〃
	2-3		〃	4.2m	〃	〃
のり枠の有無の検討	3-1		20m	3.0m	均等	なし
	3-2		〃	4.2m	〃	〃
補強材配置による補強効果の確認	4-1		20m	1.8m	上段補強	あり
	4-2		〃	〃	中段補強	〃
	4-3		〃	〃	下段補強	〃

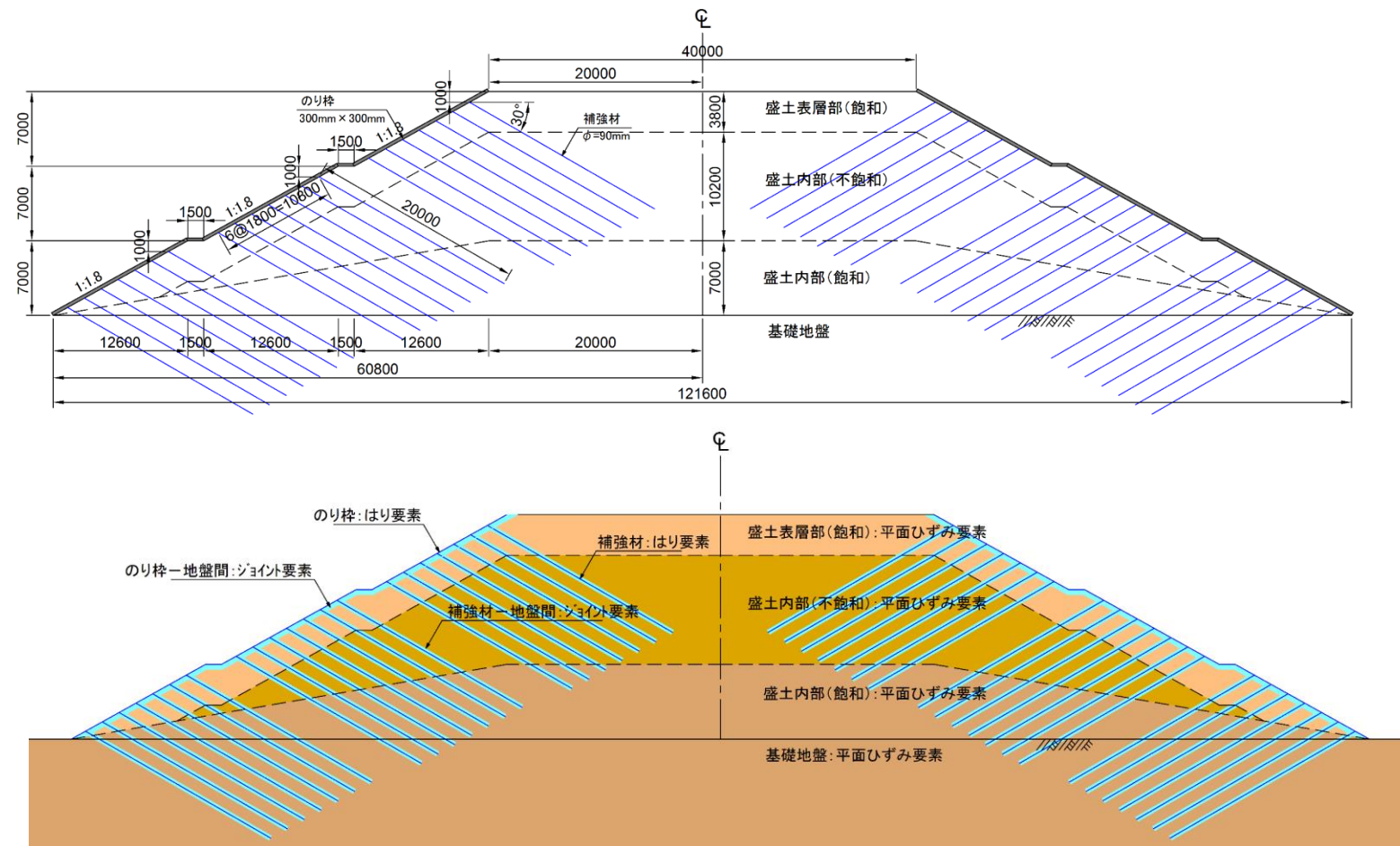
既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

session4 補強材配置、のり枠の補強効果の検証

42

検討盛土



【CASE2-1の例】

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

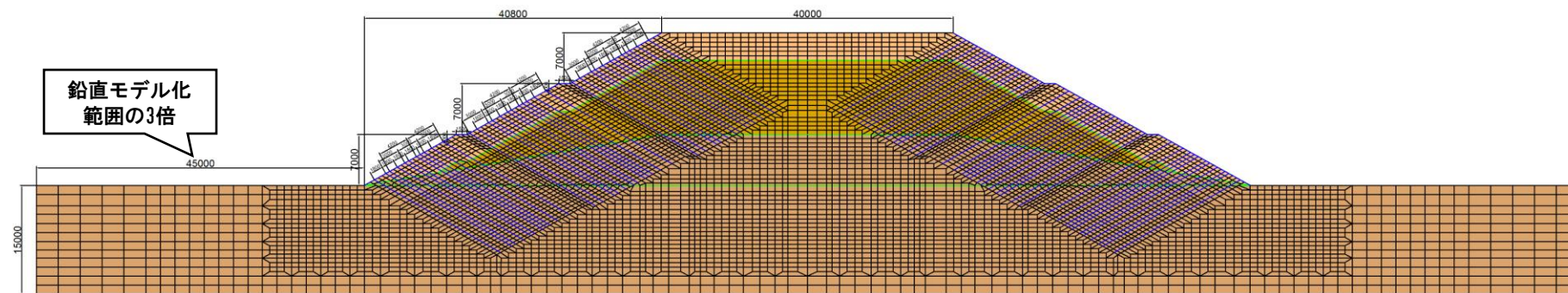
加茂 由紀彦

session4 補強材配置、のり枠の補強効果の検証

43

解析モデル・地盤定数

地盤定数は、設計要領、道示、既設補強マニュアル、文献等の算出式、一般値より設定



【解析メッシュ(全ケース)】

【地盤定数】

土質	単位 体積 重量 γ_t (kN/m ³)	間隙 率 n	変形特性								
			ポアソン 比 ν	初期 せん断 剛性 G_{ma} (kN/m ²)	体積 弾性 係数 K_{ma} (kN/m ²)	基準 拘束圧 σ'_{ma} (kN/m ²)	拘束圧 依存 係数 m_G	拘束圧 依存 係数 m_K	内部 摩擦角 ϕ_f (°)	粘着 力 c (kN/m ²)	履歴 減衰 定数 h_{max}
盛土(表層部)	19.0	0.366	0.45	3.0×10^4	2.9×10^4	50	0.5	0.5	20.0	30.0	0.30
盛土内部(不飽和)	19.0	0.366	0.45	3.0×10^4	2.9×10^4	50	0.5	0.5	20.0	30.0	0.30
盛土内部(飽和)	19.0	0.366	0.49	3.0×10^4	1.5×10^4	50	0.5	0.5	25.0	14.0	0.30
基礎地盤	19.0	0.366	0.49	3.0×10^4	1.5×10^4	50	0.5	0.5	1000.0	30.0	0.30

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

session4 補強材配置、のり枠の補強効果の検証

44

補強材・のり枠の解析定数

- 地盤定数は、既設補強マニュアル、コンクリート標準仕様書、道路橋示方書等から設定
- 補強材の変形係数は、鉄筋とグラウトの変形係数と有効断面積を考慮し、平均値を算出
- 2次元解析のため奥行き1mあたりに換算

【構造要素の解析定数】

材料	仕様	CASE	間隔 (m)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	変形係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	断面積 A (1mあたり) (m ²)	断面二次 モーメント I (1mあたり) (m ⁴)
補強材	【鉄筋】 D32 【グラウト(モルタル)】 $\phi 90\text{mm}$, $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$	2-1	1.8	0.0	4.7×10^7	0.167	3.534×10^{-3}	1.789×10^{-6}
		2-2	3.0	0.0	4.7×10^7	0.167	2.121×10^{-3}	1.074×10^{-6}
		2-3	4.2	0.0	4.7×10^7	0.167	1.515×10^{-3}	4.668×10^{-6}
のり枠	$300\text{mm} \times 300\text{mm}$ $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$	2-1	1.8	0.0	2.2×10^7	0.167	5.000×10^{-2}	3.750×10^{-4}
		2-2	3.0	0.0	2.2×10^7	0.167	3.000×10^{-2}	2.250×10^{-4}
		2-3	4.2	0.0	2.2×10^7	0.167	2.143×10^{-2}	1.607×10^{-4}

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

加茂 由紀彦

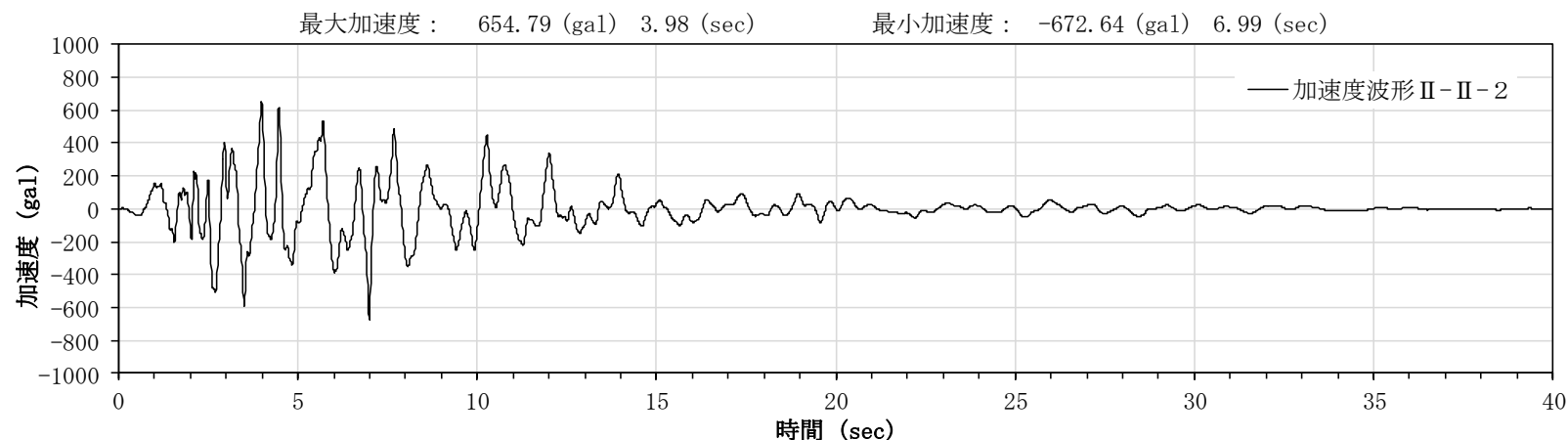
session4 補強材配置、のり枠の補強効果の検証

45

入力波形

- ・地盤種別はⅡ種地盤とした
- ・無対策時に最も沈下量の多い波形を選定した

地盤種別	地震名	記録場所及び成分	呼び名
Ⅰ種地盤	平成7年兵庫県南部地震	神戸海洋気象台地盤上 NS成分	Ⅱ-I-1
		神戸海洋気象台地盤上 EW成分	Ⅱ-I-2
		猪名川架橋予定地点周辺地盤上 NS成分	Ⅱ-I-3
Ⅱ種地盤		JR西日本鷹取駅構内地盤上 NS成分	Ⅱ-II-1
		JR西日本鷹取駅構内地盤上 EW成分	Ⅱ-II-2
		大阪ガス葺合供給所構内地盤上 N27W成分	Ⅱ-II-3
Ⅲ種地盤		東神戸大橋周辺地盤上 N12W成分	Ⅱ-Ⅲ-1
		ポートアイランド内地盤上 NS成分	Ⅱ-Ⅲ-2
		ポートアイランド内地盤上 EW成分	Ⅱ-Ⅲ-3



【JR西日本鷹取駅構内地盤上 EW成分】

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

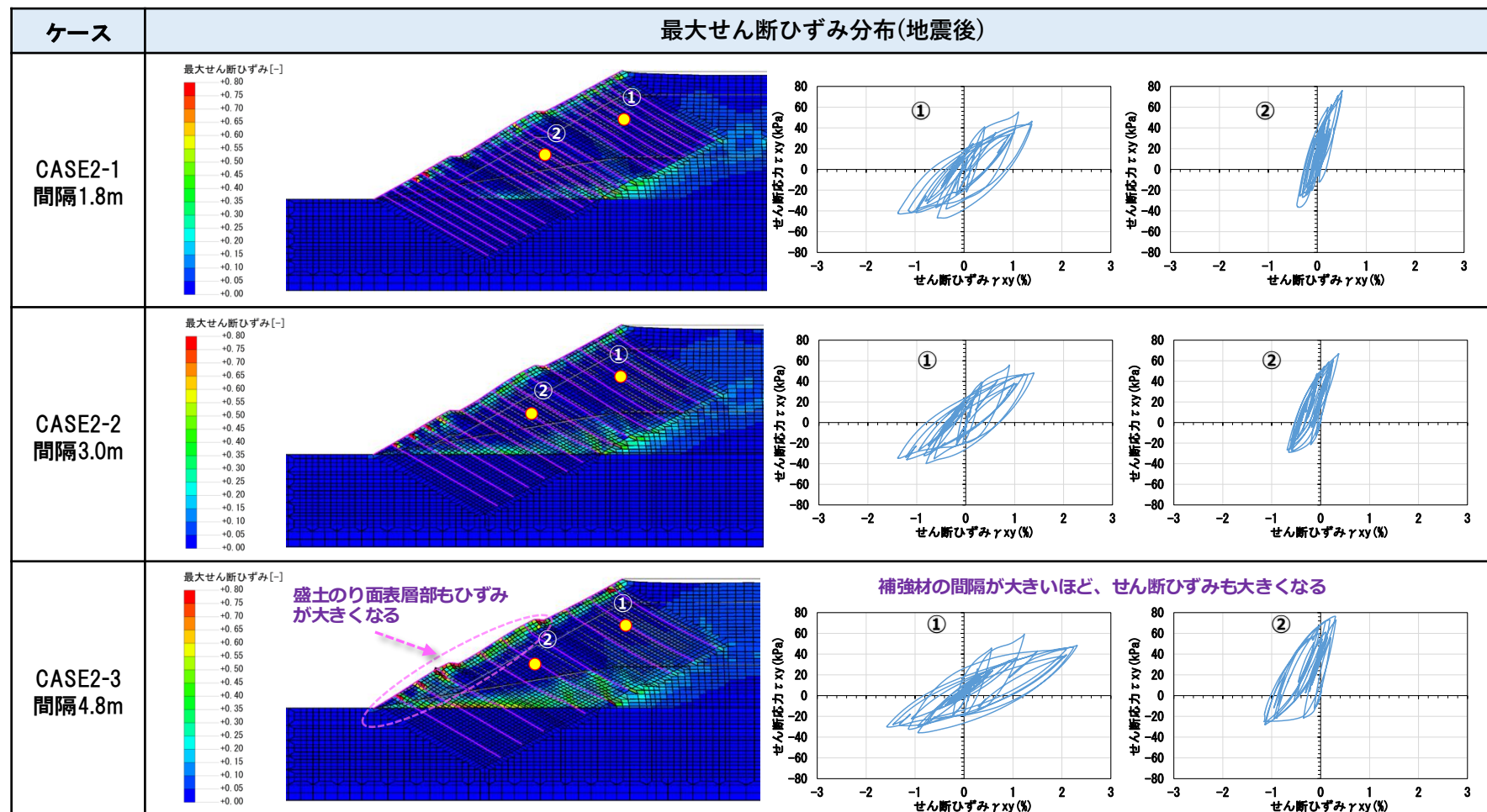
八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

session4 補強材配置、のり枠の補強効果の検証

46

解析結果

- 補強材間隔が小さいほど、せん断ひずみを抑制
- 補強材間隔が大きいと、のり面表層部のひずみも進展



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

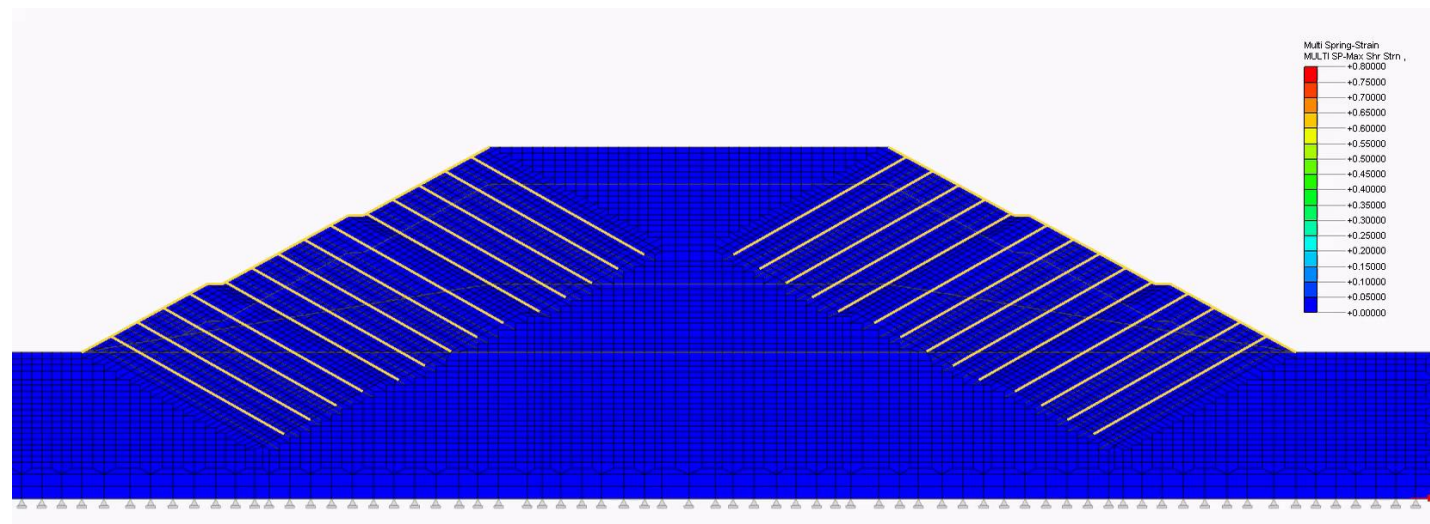
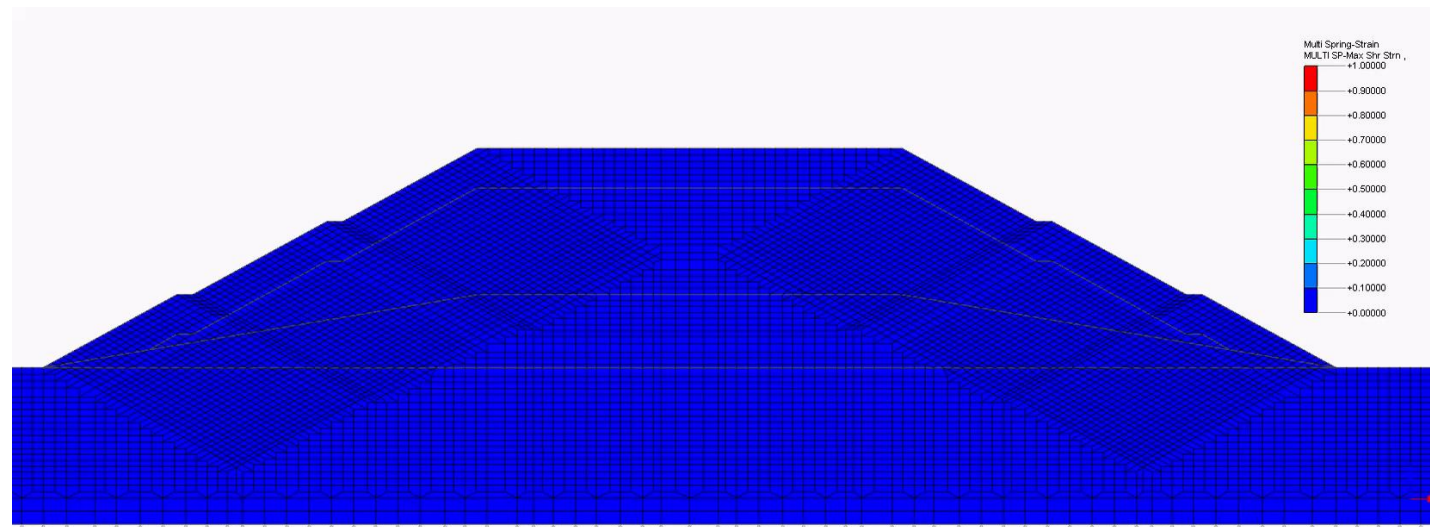
八千代エンジニアリング
株式会社

加茂 由紀彦

session4 補強材配置、のり柢の補強効果の検証

47

解析結果



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

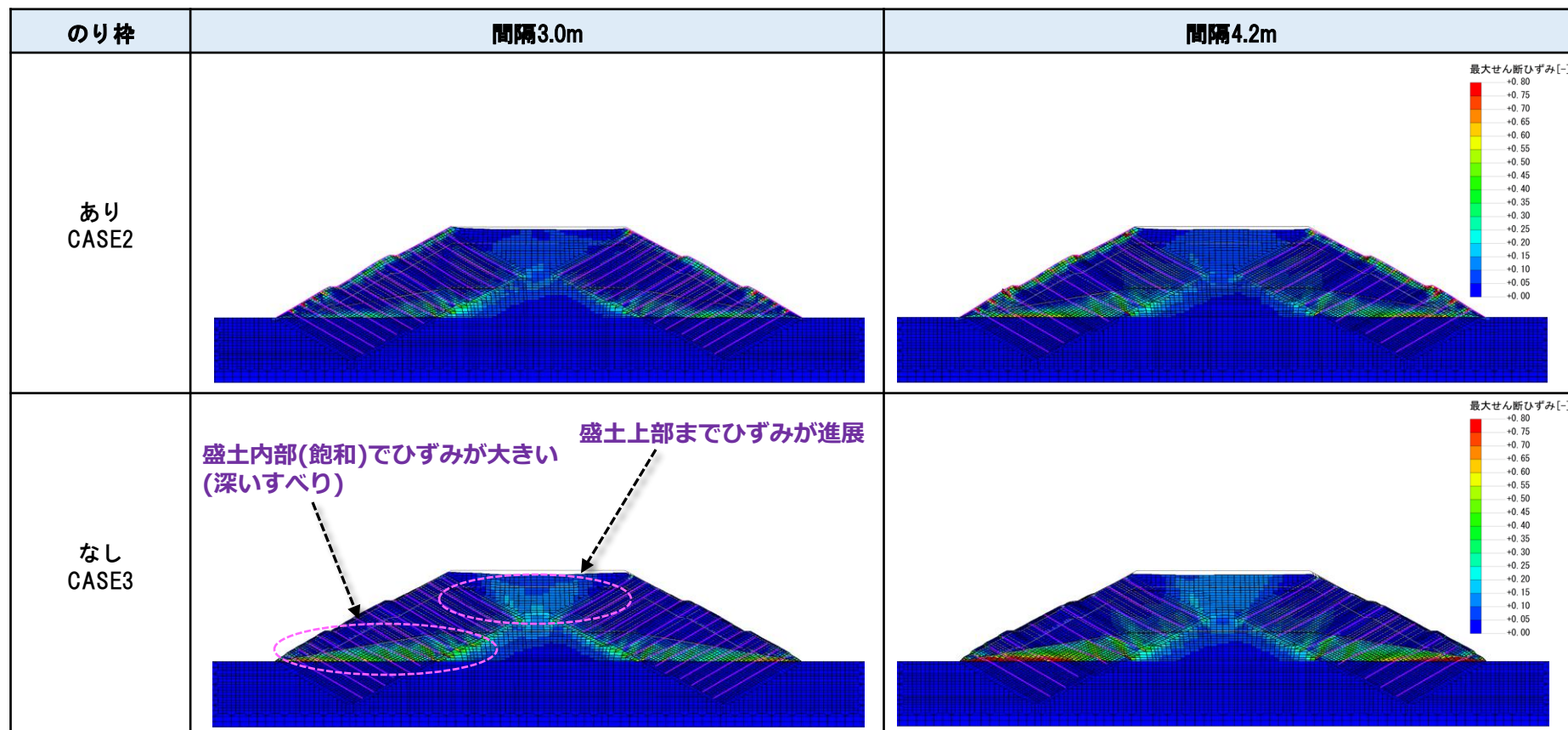
八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

session4 補強材配置、のり枠の補強効果の検証

48

解析結果

- のり枠による補強効果を確認
- のり枠が無いと、盛土内部の深い位置でひずみが大きくなる（深いすべりの発生）



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

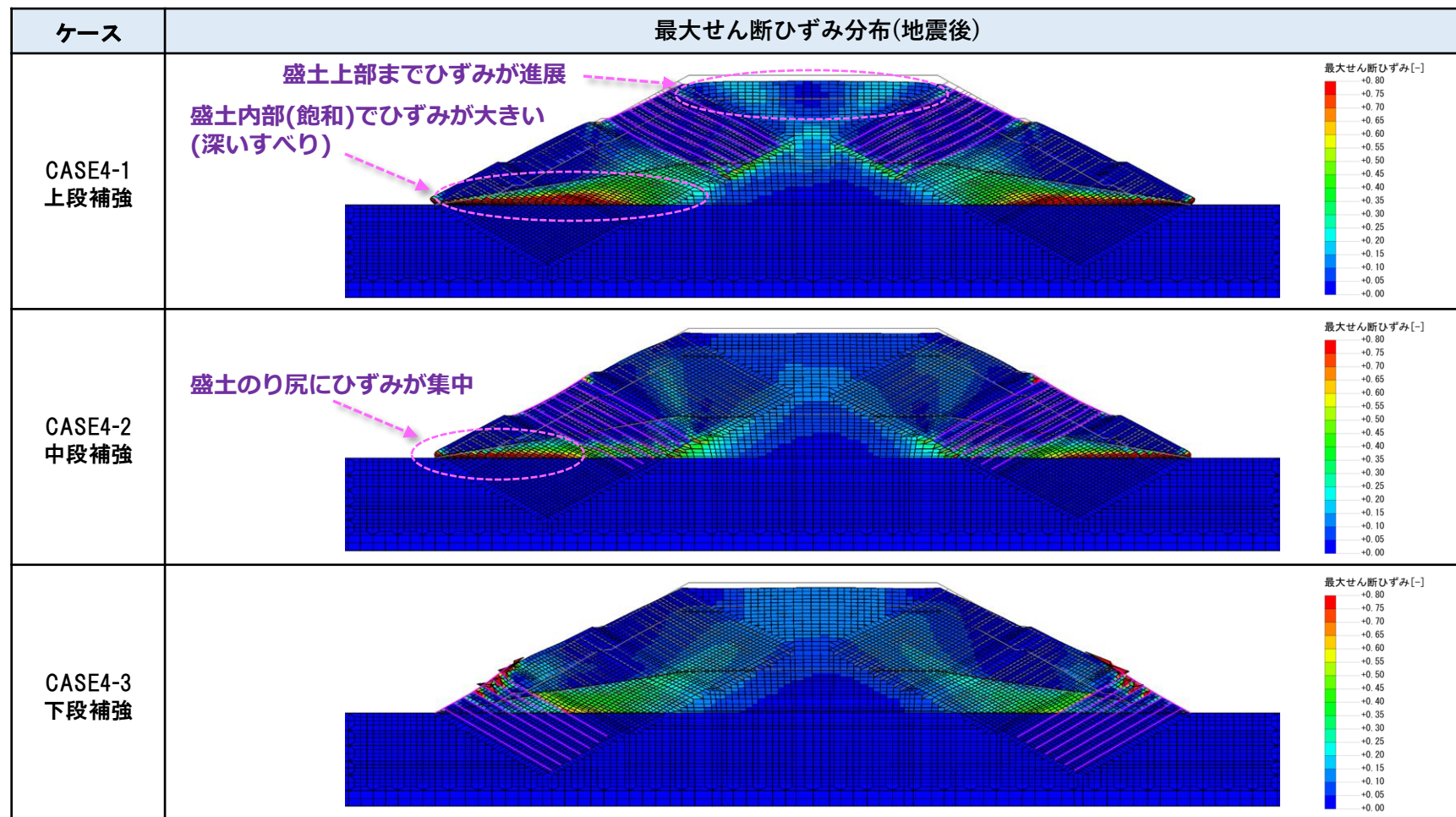
八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

session4 補強材配置、のり枠の補強効果の検証

49

解析結果

- 補強材間隔が小さいほど、せん断ひずみを抑制
- 補強材間隔が大きいと、のり面表面のひずみも進展



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

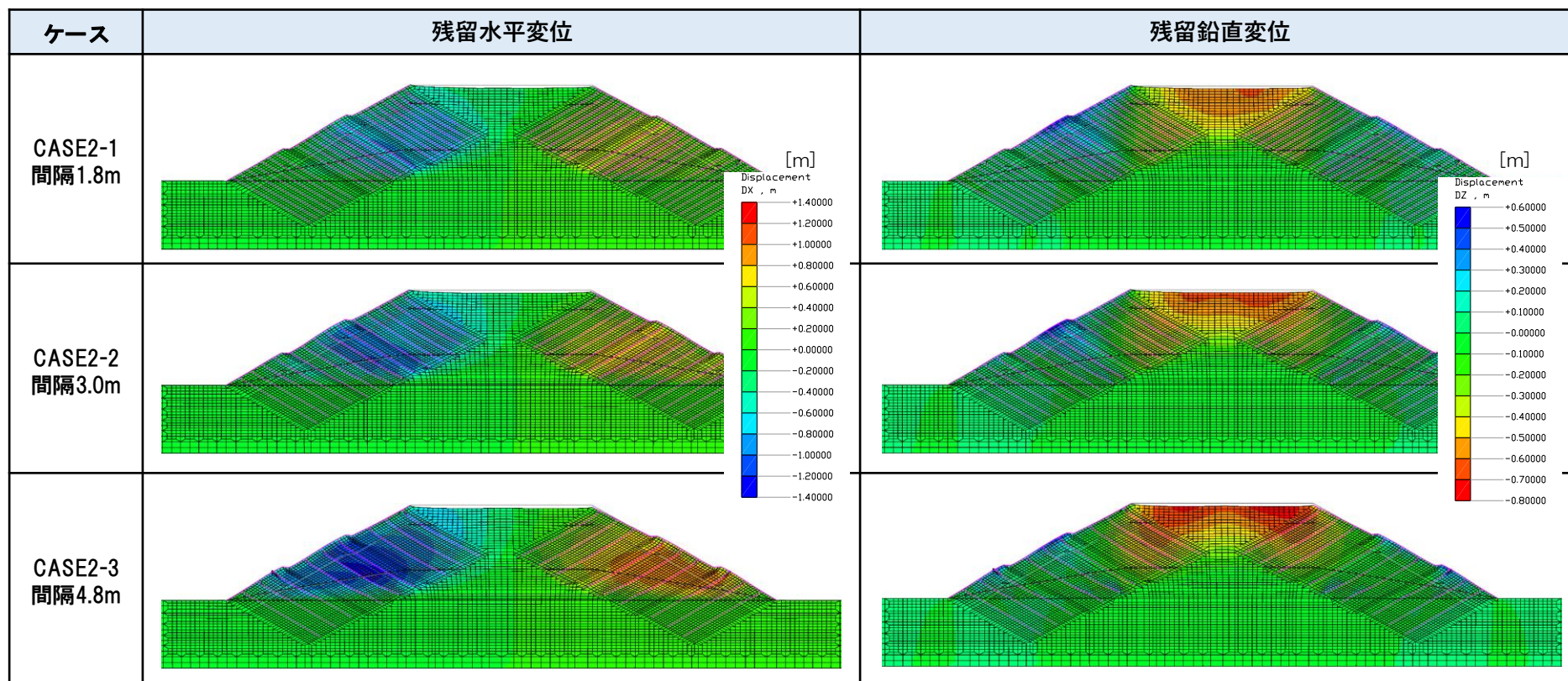
加茂 由紀彦

session4 補強材配置、のり枠の補強効果の検証

50

解析結果

- 補強材間隔が密なほど、補強材間のせん断ひずみを抑える効果が確認できる。
- 補強材間隔が密なほど、水平変位分布に対する補強効果がある。
- 補強材間隔が密なほど、鉛直変位分布に対する補強効果がある。
- 補強材4.2m間隔でも盛土天端沈下量を1m以内に抑えることができる。



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

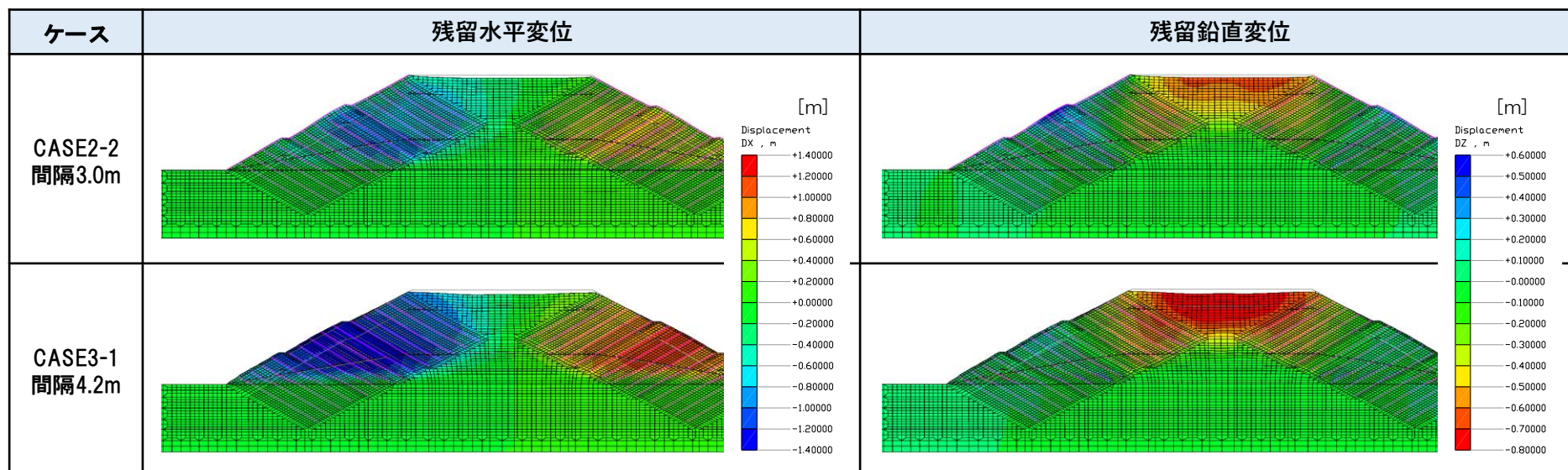
加茂 由紀彦

session4 補強材配置、のり枠の補強効果の検証

51

解析結果

- のり枠による補強効果により、水平変位分布、鉛直変位分布を抑える効果が確認された。
- 補強材のみでも盛土天端沈下量を1m程度に抑えることができる。



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

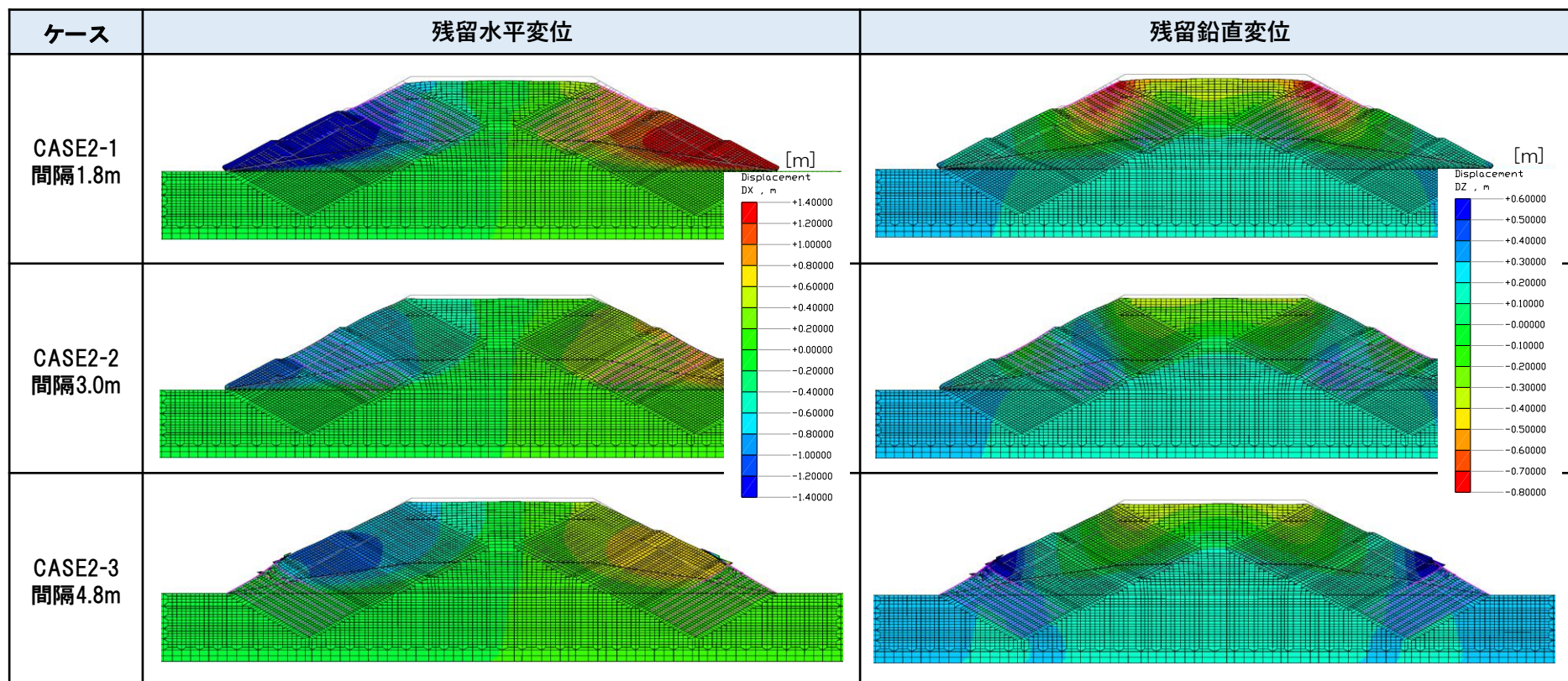
加茂 由紀彦

session4 補強材配置、のり枠の補強効果の検証

52

解析結果

- ・集中補強の効果は中段補強＞下段補強＞上段補強の順で補強効果が高い。
- ・集中配置における補強材本数は、CASE2-3（補強材+のり枠）4.2m間隔の補強材本数と同程度である。
- ・検討結果の比較から、均等配置の方が補強効果を確認できるため、均等配置が望ましいと考えられる。



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

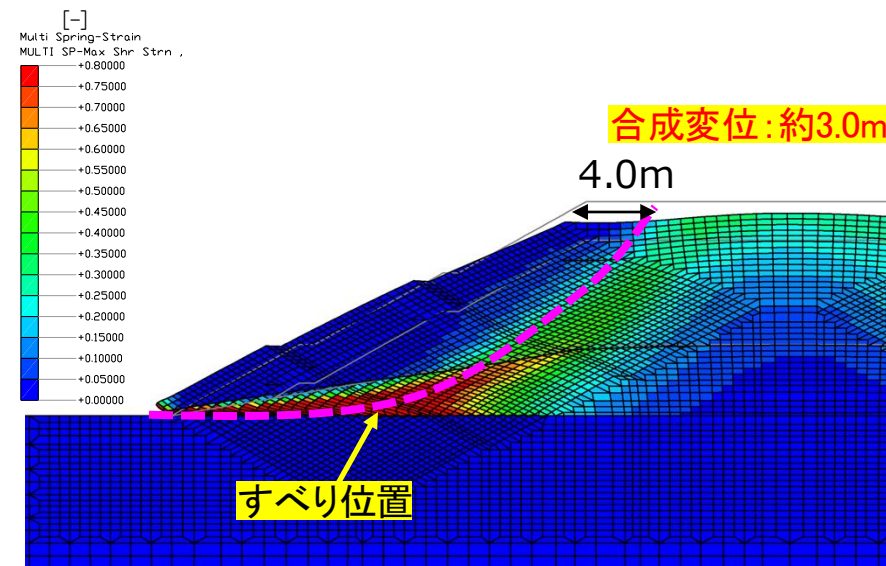
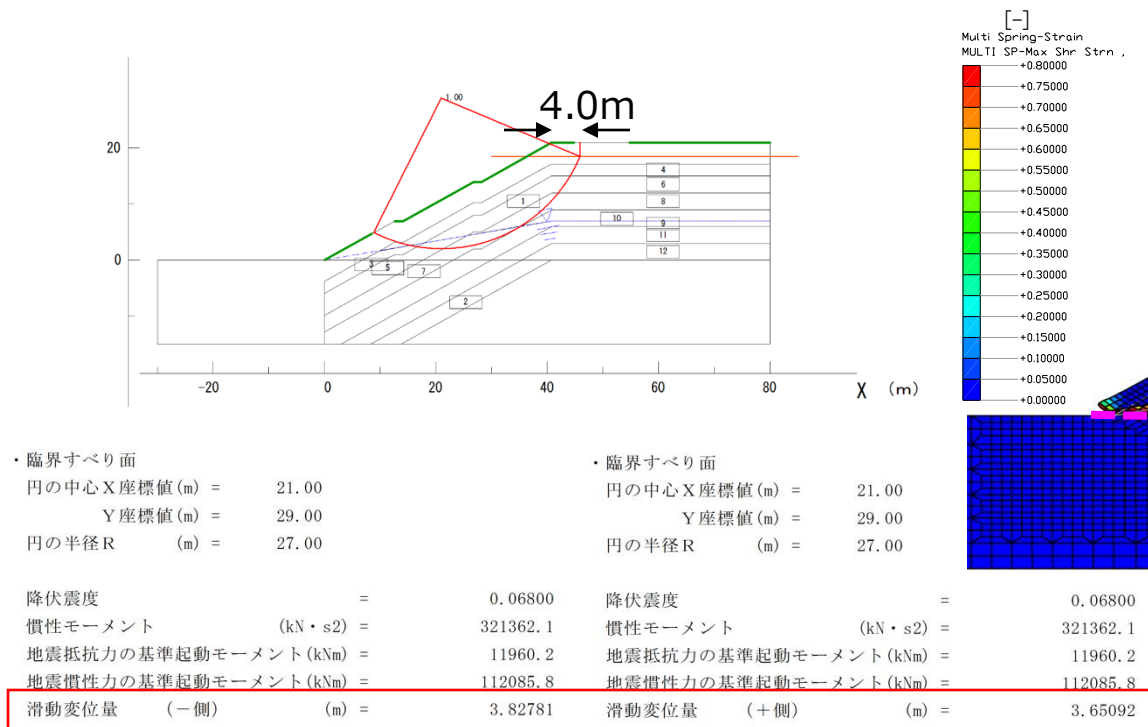
加茂 由紀彦

session4 補強材配置、のり枠の補強効果の検証

53

解析結果

- ・無対策時の検討結果（CASE1-1）から、のり肩から4.0m離れた位置における合成変位は2.9m程度となる
- ・無対策時のニューマーク法における活動変位量（一側＝3.8m、＋側＝3.7m）は、FEM解析結果より大きくなる
- ・安定計算における最小安全率の円弧と、FEMのせん断ひずみ分布の境界位置と、ほとんど一致する



すべり線は安定計算の概ね整合
変位量は小さくなる傾向

既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

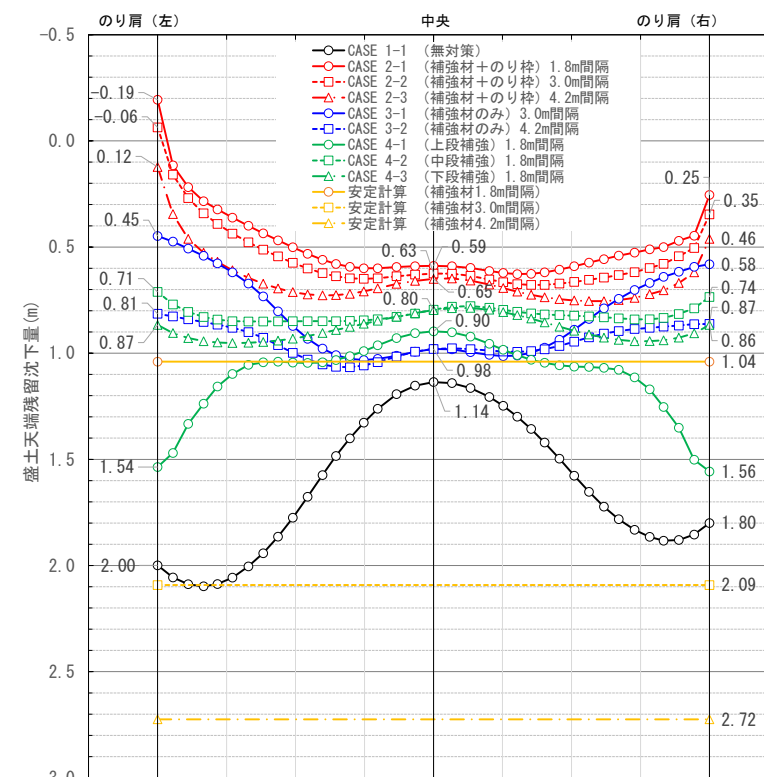
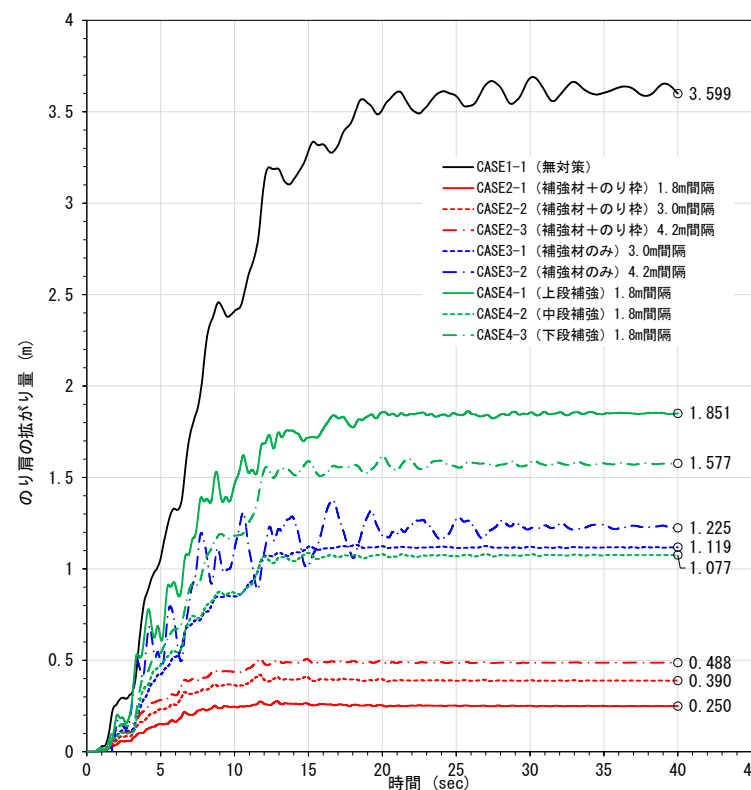
加茂 由紀彦

session4 補強材配置、のり枠の補強効果の検証

54

解析結果

- 補強材間隔の検討結果（CASE2-1～2-3）から、補強材間隔が密なほどり肩の拡がり量、盛土天端の残留沈下量を抑える効果を確認できた。これは、補強材を密に配置にすることにより補強材に囲まれている土が一体となる効果が生じ、補強材間のせん断ひずみを抑えるためだと考えられる。
- 安定計算においては補強材間隔を粗くしたときの変位量の増幅は、安定計算は大きく増幅するが、二次元動的FEM解析はあまり増幅しない。二次元動的FEM解析は、補強材の補強効果が大きいことが確認できる。



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社

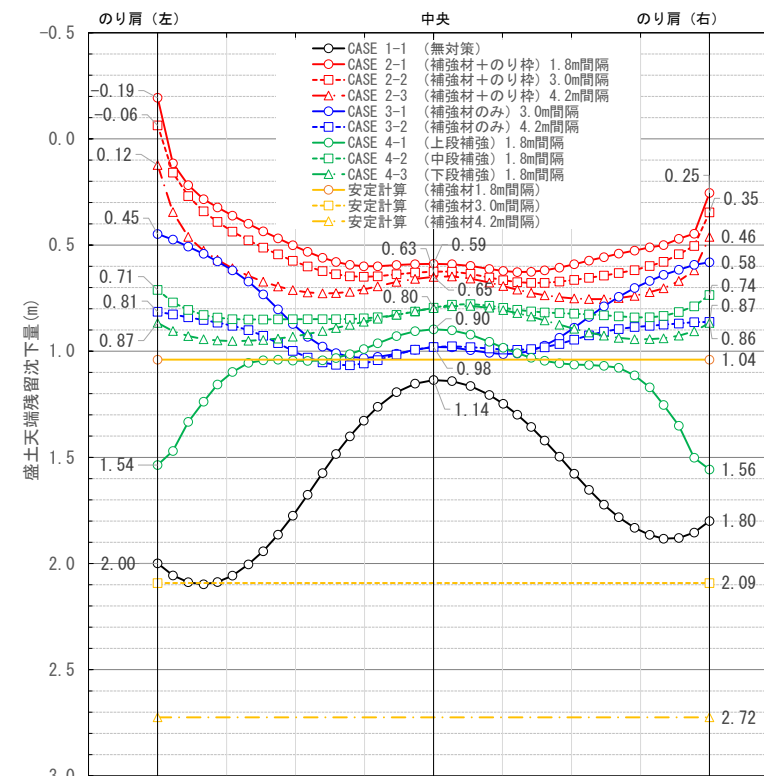
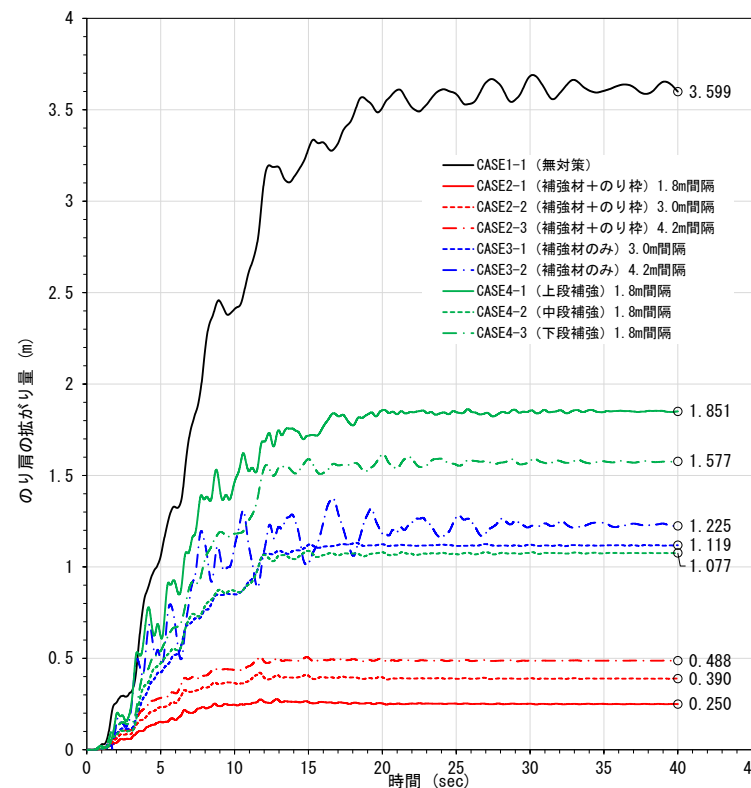
加茂 由紀彦

session4 補強材配置、のり枠の補強効果の検証

55

解析結果

- のり枠が有ることにより、のり肩の拡がり量を抑える効果を確認できる。
- のり枠が有ることにより、盛土天端の残留沈下量を抑える効果を確認できる。
- したがって補強効果の大きさは補強材+のり枠>補強材のみとなる。
- 補強材のみでも盛土天端の残留沈下量を1 m程度に抑えることができる。



既設盛土のり面補強 対策に関する解析的 検証

八千代エンジニアリング
株式会社
加茂 由紀彦

session4 補強材配置、のり枠の補強効果の検証

56

今後の課題

- ・試算の結果、動的解析法の方が補強材本数を50%程度削減できる可能性を得た。
- ・また、盛土補強工法の設計精度の高精度化に向けた基礎資料を作成し、発注者に提案した。
- ・今後は本解析手法の信頼性向上のため、様々な盛土事例に対して実装を繰り返し、標準的な設計法の確立に努める。
- ・補強材、のり枠、補強材とのり枠の接合部の照査方法を検討し、それらも踏まえて補強材間隔の検討を行う必要がある。
- ・補強材間隔を大きくすると補強材間で中抜けが生じやすくなる。補強材間隔と中抜けの関係、中抜けに対する短尺補強材などの補強対策を検討する必要がある。
- ・脆弱岩を用いた動的遠心力載荷試験と合わせ補強材間隔、のり枠の必要性、補強材の集中配置について検討する必要がある。
- ・その他、様々な盛土の場合の補強材配置についても検討が必要である。

既設盛土のり面補強対策に関する解析的検証

八千代エンジニアリング株式会社 加茂 由紀彦

MIDAS × YACHIYO

ご視聴
ありがとうございました