



固有値解析から見た地震時の土構造物-地盤系の崩壊について

名古屋大学
野田 利弘・山田正太郎

Introduction keyword 固有モード, 刺激係数

これからの話に置き換えると・・・

東日本大震災からの教訓と課題... 巨大自然災害被害予測...
防災・減災... 南海トラフ巨大地震... 津波・浸水...
固有モード... 液化化被害...



興味津々！！
防災の話をするとき、
外力
自身の防災魂がくすぐられる
固有モード 刺激係数 大

窒化ガリウム... 省エネルギー... ノーベル賞...
p型結晶... 青色発光ダイオード...
n型結晶... 有機金属化学気相成長法...



興味はあるが・・・
物理学の話をするとき、
外力
自身の物理学魂はあまりくすぐられない
固有モード 刺激係数 小

発表の流れ

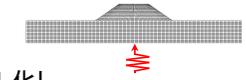
1. 背景および目的
2. 固有値解析
3. 地震応答解析
 - 3.1 テーマ1：MODE-1に合うもの・合わないもの
 - 3.2 テーマ2：MODEの違いによる壊れ方の違い
4. まとめ
5. 本研究の適用「補強工法」(・・・時間があれば)

1. 背景および目的

土構造物や地盤の耐震性評価

数値解析上では、

1. 対象とする土構造物や地盤をモデル化し、
2. 過去の地震や模擬地震を用いて地震応答解析を行う



問題点 用いる地震は、モデルにとって最も危険なのか？

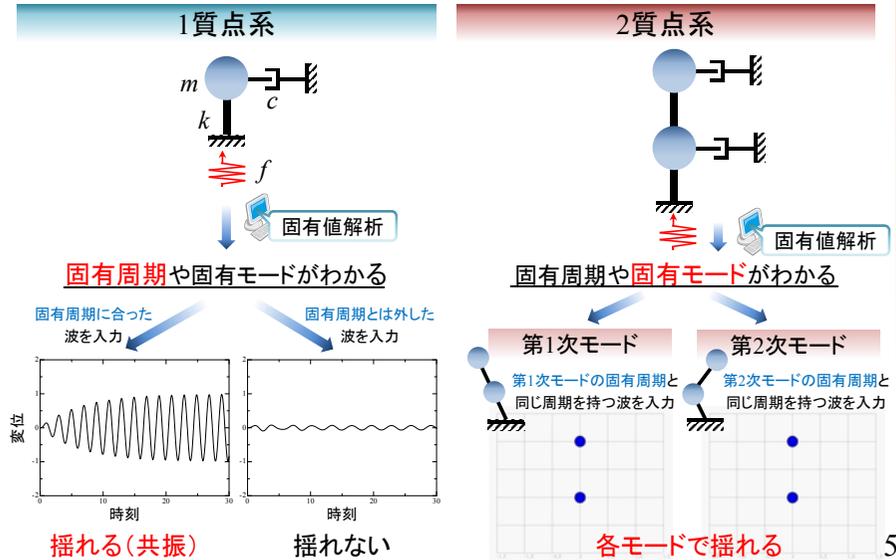
たとえ加速度が小さい別の地震でも、
振動特性の相性次第では、より大きな被害が生じるのでは
(だからと言って、あらゆる地震を用意して、個々に解析することは到底不可能)

→ **固有値解析の導入**：耐震性を適切に評価するために、
モデルの振動特性を事前に把握する
(ex 固有振動数, 固有モードなど)

目的 固有値解析手法と地震応答解析を組み合わせ、
系の固有振動数および固有モード、地震の卓越振動数を
考慮しながら、土構造物-地盤系の耐震性評価を行う

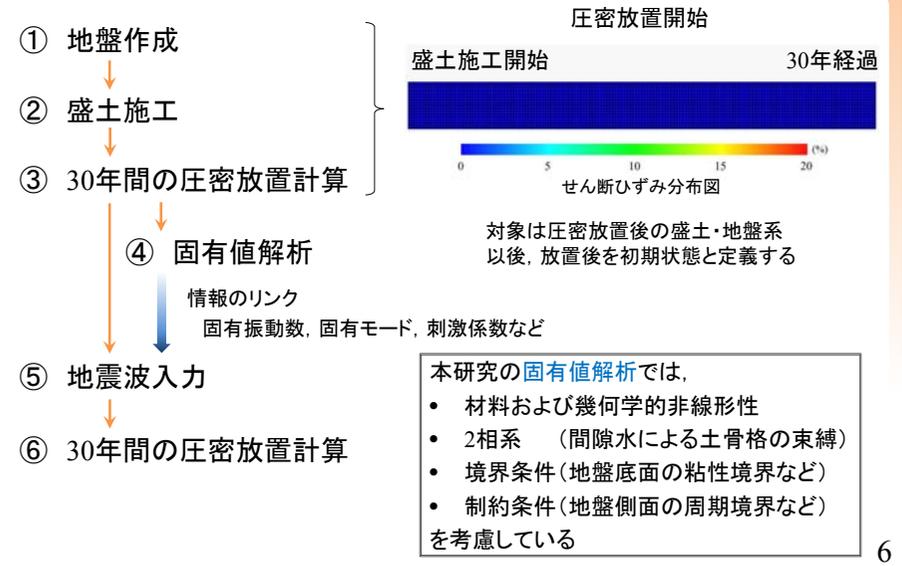
1. 背景および目的

固有値解析



2.0 解析への準備

解析手順 メッシュ / 境界条件



2.0 解析への準備

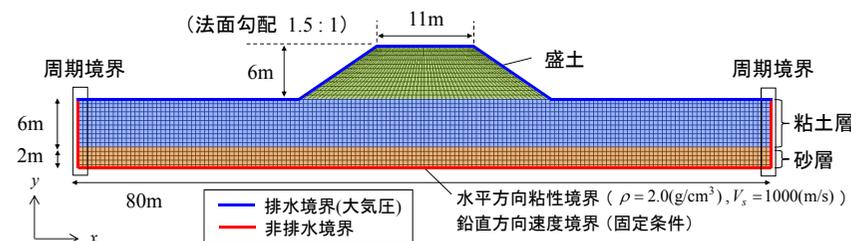
解析対象 メッシュ / 境界条件

諸条件

2次元平面ひずみ条件
地盤, 盛土ともに2相系弾塑性体, 飽和状態

境界条件

- 地盤底面: 水平方向粘性境界, 鉛直方向固定
- 地盤側面: 周期境界
- 地盤底面: 非排水境界
- 地表面: 排水境界(大気圧)境界



2 固有値解析

解析手法 解析結果

非比例減衰系の振動問題におけるモード解析で用いる刺激係数 $\beta^{(s)}$ は、

$$\beta^{(s)} = \frac{\{U\}^{(s)T} [M] \{1\}}{\{U\}^{(s)T} [M] \{U\}^{(s)} 1 + (\varepsilon^{(s)} - \varepsilon'^{(s)})} \quad \dots(8)$$

刺激係数とは、元の系の基盤加速度に対する、あるモード振動系の基盤加速度の倍率である
刺激係数が大きいことは、そのモード振動系が大きな基盤加速度を受けることを意味する

すなわち、

- 刺激係数 大 \rightarrow 揺れやすい固有モード \rightarrow 危険な固有モード, 固有振動数
- 刺激係数 小 \rightarrow 揺れにくい固有モード

と評価できる

以降、固有モードを刺激係数の大きさによって評価する
(= 刺激係数の大きい順に固有モードを整理する)

2 固有値解析

解析手法 解析結果

刺激係数 順位	固有モード (f :固有振動数, h :減衰定数, $ \beta_s $:刺激係数の絶対値) 複素固有ベクトルの実部	複素固有ベクトルの虚部
MODE-1 1	地盤が変形するモード $f = 0.698(\text{Hz}), h = 0.135 \times 10^{-1}, \beta_s = 0.753$	
MODE-2 2	地盤が変形するモード $f = 0.826(\text{Hz}), h = 0.710 \times 10^{-2}, \beta_s = 0.307$	
MODE-3 3	盛土が変形するモード $f = 1.935(\text{Hz}), h = 0.723 \times 10^{-2}, \beta_s = 0.193$	

上位3位までをMODE-1~3として抽出

以上より、刺激係数の導入によって、

- 固有モードを客観的に抽出することが可能かもしれない
- 抽出漏れというリスクをゼロにすることが可能かもしれない

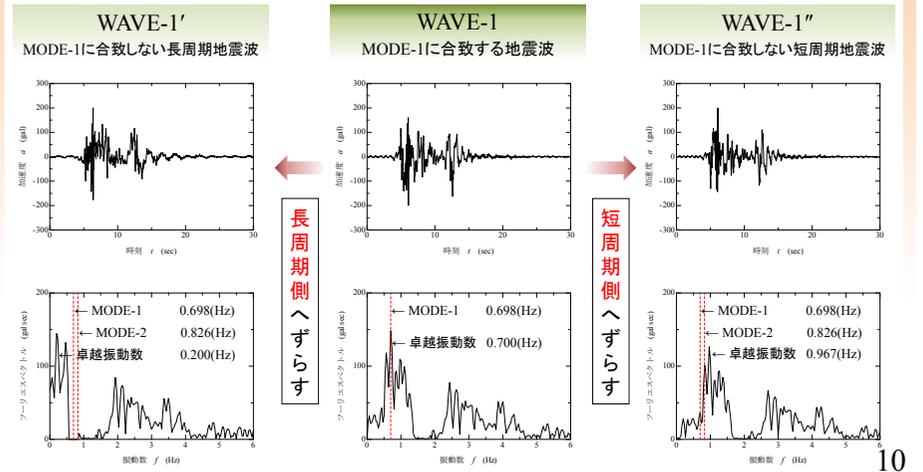
→「妥当な固有モードが本当に抽出されているか」を地震応答解析によって検証する

9

3.1 テーマ1 : MODE-1に合うもの・合わないもの

入力地震波 解析結果① | ② | ③

- 最大加速度は、200(gal)で統一
- 地震の卓越振動数が、MODE-1に合致するもの、しないものを準備

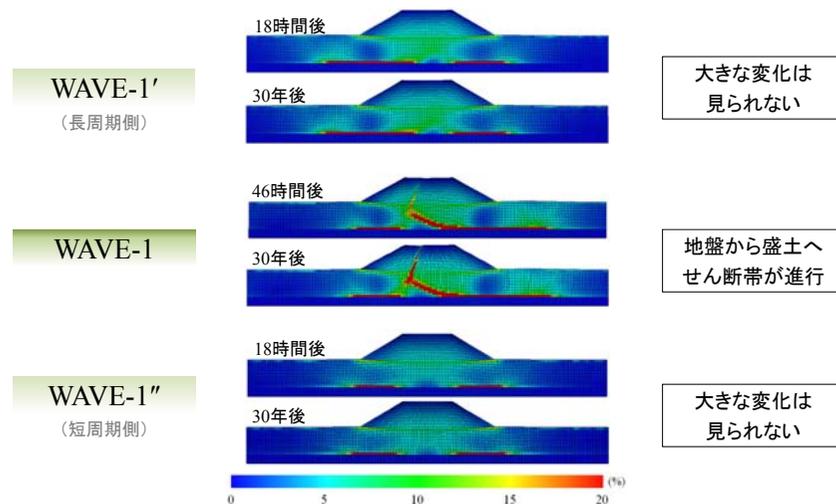


10

3.1 テーマ1 : MODE-1に合うもの・合わないもの

入力地震波 解析結果① | ② | ③

せん断ひずみ分布



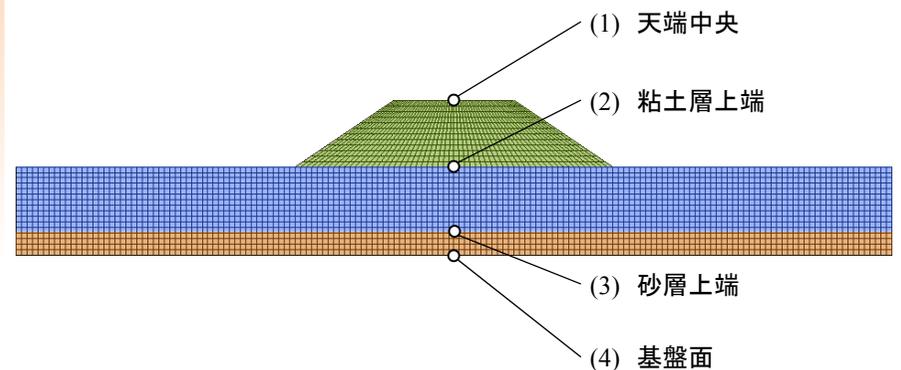
11

3.1 テーマ1 : MODE-1に合うもの・合わないもの

入力地震波 | 解析結果① | ② | ③

基盤面からみた相対水平変位

代表点として以下に示す節点に着目する

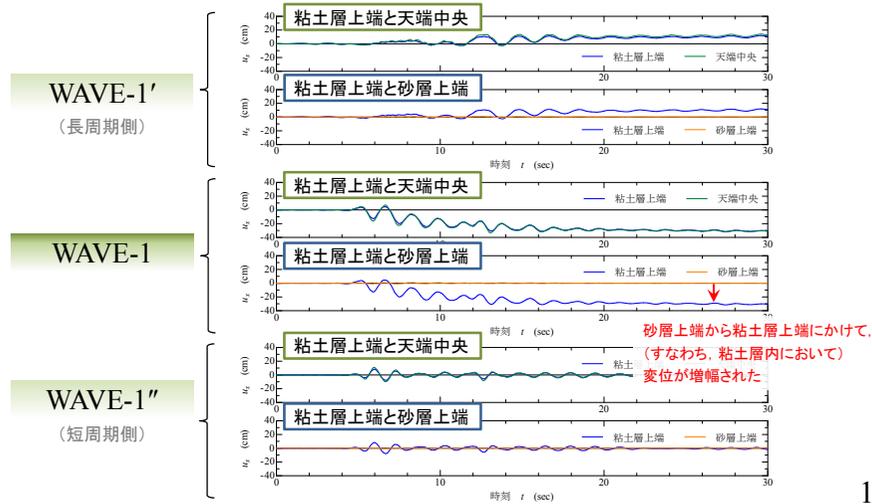


12

3.1 テーマ1：MODE-1に合うもの・合わないもの

入力地震波 | 解析結果① | ② | ③

基盤面からみた相対水平変位

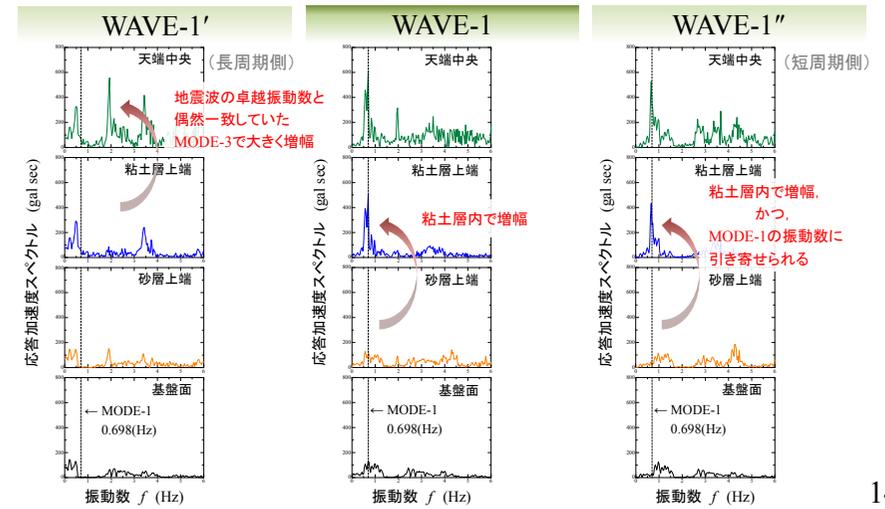


13

3.1 テーマ1：MODE-1に合うもの・合わないもの

入力地震波 | 解析結果① | ② | ③

応答加速度スペクトル

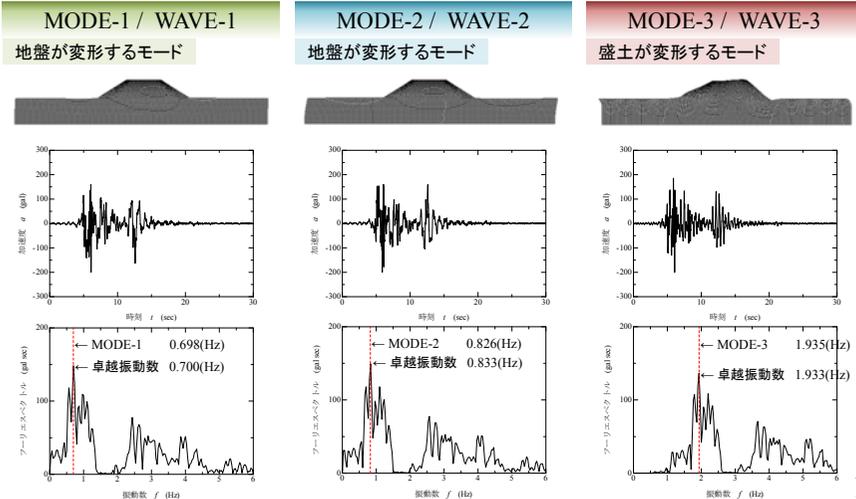


14

3.2 テーマ2：MODEの違いによる壊れ方の違い

入力地震波 | 解析結果① | ② | ③

- 最大加速度は、200(gal)で統一
- 地震の卓越振動数が、各MODEに合致するものを準備

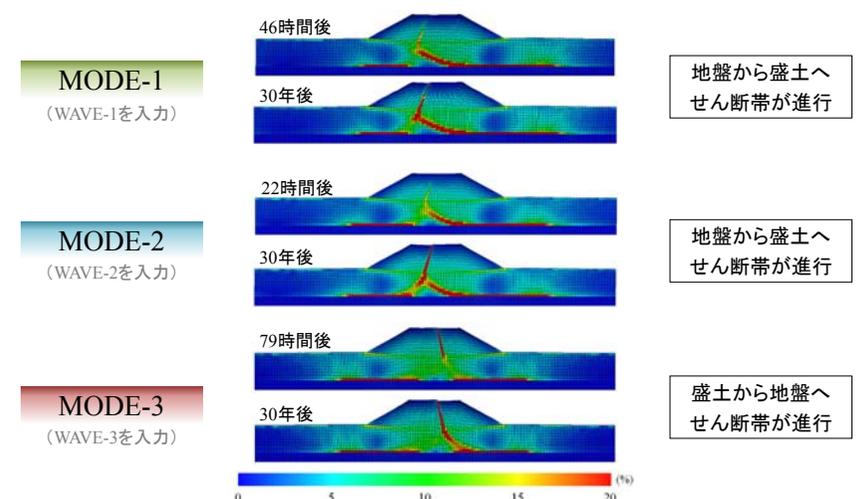


15

3.2 テーマ2：MODEの違いによる壊れ方の違い

入力地震波 | 解析結果① | ② | ③

せん断ひずみ分布

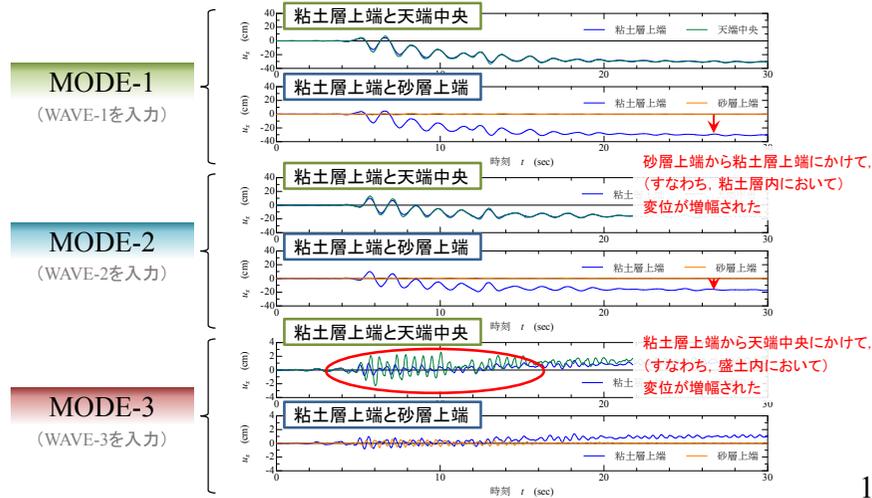


16

3.2 テーマ2：MODEの違いによる壊れ方の違い

入力地震波 | 解析結果① | ② | ③

基盤面からみた相対水平変位

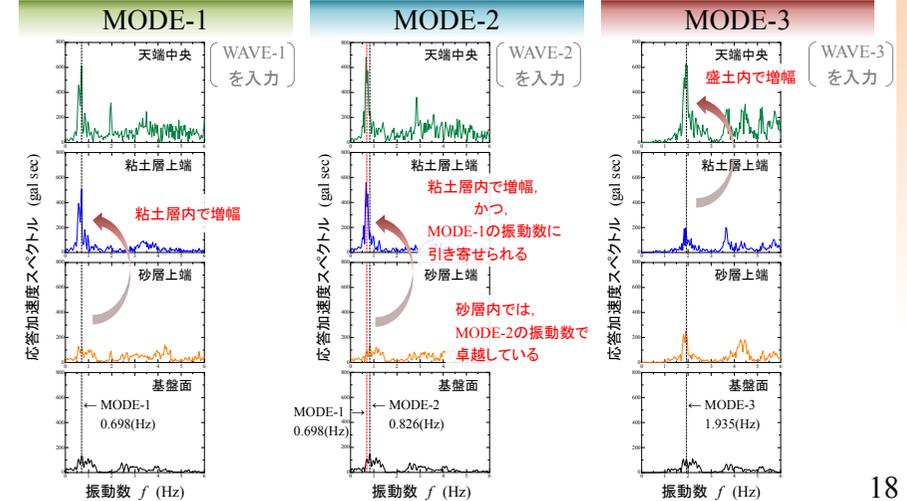


17

3.2 テーマ2：MODEの違いによる壊れ方の違い

入力地震波 | 解析結果① | ② | ③

応答加速度スペクトル



18

4 まとめ

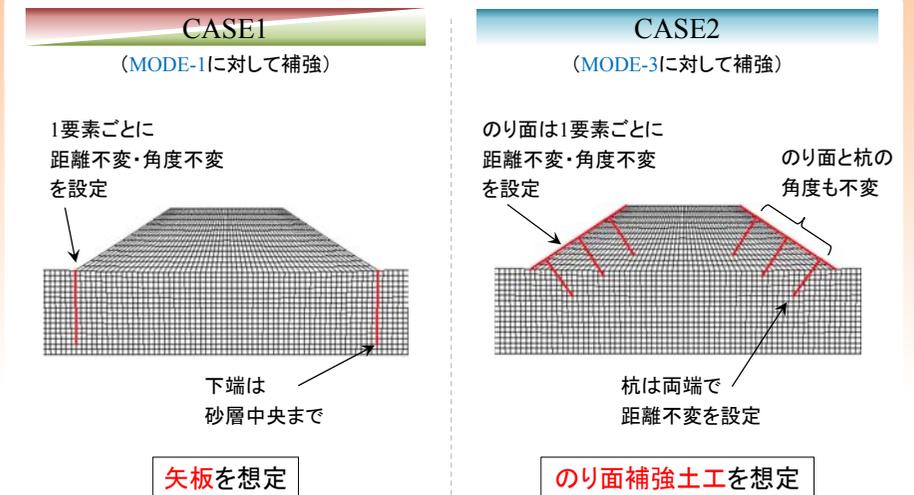
以上で得られた知見を次に示す

1. 有限変形場の速度型運動方程式を有する飽和土の初期値・境界値問題に対して、固有値解析を行い、刺激係数を求める手法を新たに導出した
2. 固有振動数が時々刻々と変化する弾塑性問題であっても、初期時の固有振動数・固有モードが系の振動特性を把握するうえで重要な値となる
3. 地震の卓越周期が異なれば、異なる固有モードが卓越して現れ、地震中・地震後の変形・破壊挙動に大きな影響を及ぼす
4. 刺激係数の絶対値によって、揺れやすい固有モードを客観的に抽出することができる
5. 刺激係数を用いることで、揺れやすい固有モードの抽出漏れをゼロにすることができる
6. 互いに固有振動数が近い複数の固有モードにおいて、刺激係数が小さい方の固有モードに合わせた地震波を入力しても、刺激係数が大きい方の固有モードが卓越する

19

5 本研究の適用「補強」

補強概要 | 固有値解析 | 入力地震波 | 地震応答解析

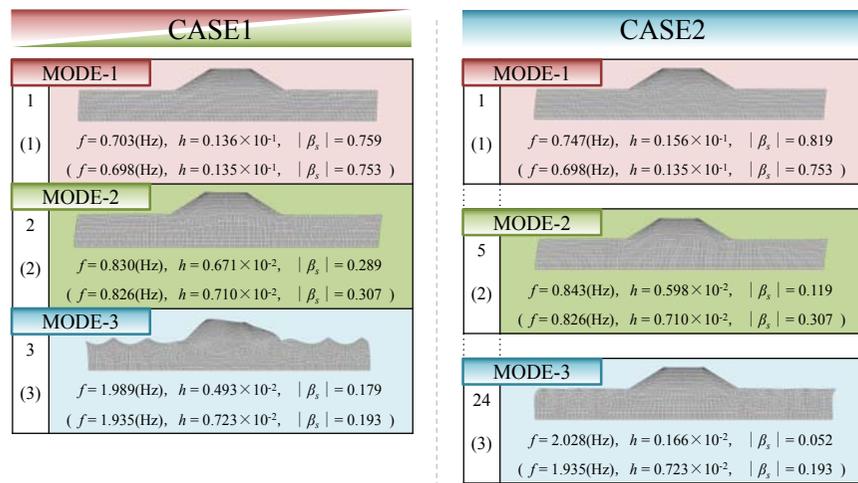


* 設定は左右対称, 地震直前に制約条件を入力, その他条件は無補強時と同様

20

5 本研究の適用「補強」

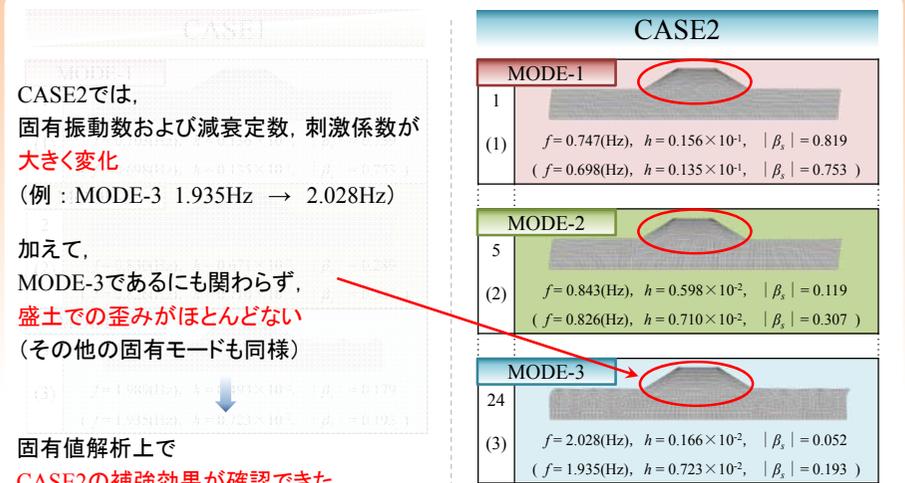
補強概要 | 固有値解析 | 入力地震波 | 地震応答解析



* ()内は無補強時の値 21

5 本研究の適用「補強」

補強概要 | 固有値解析 | 入力地震波 | 地震応答解析

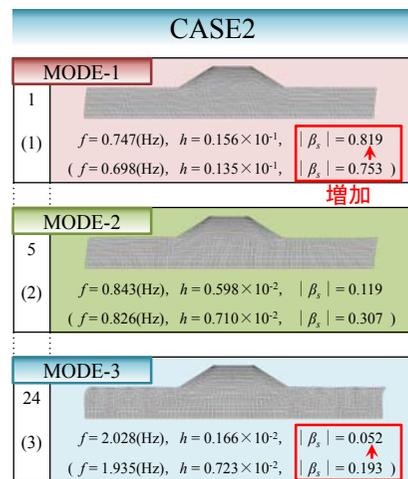


* ()内は無補強時の値 22

5 本研究の適用「補強」

補強概要 | 固有値解析 | 入力地震波 | 地震応答解析

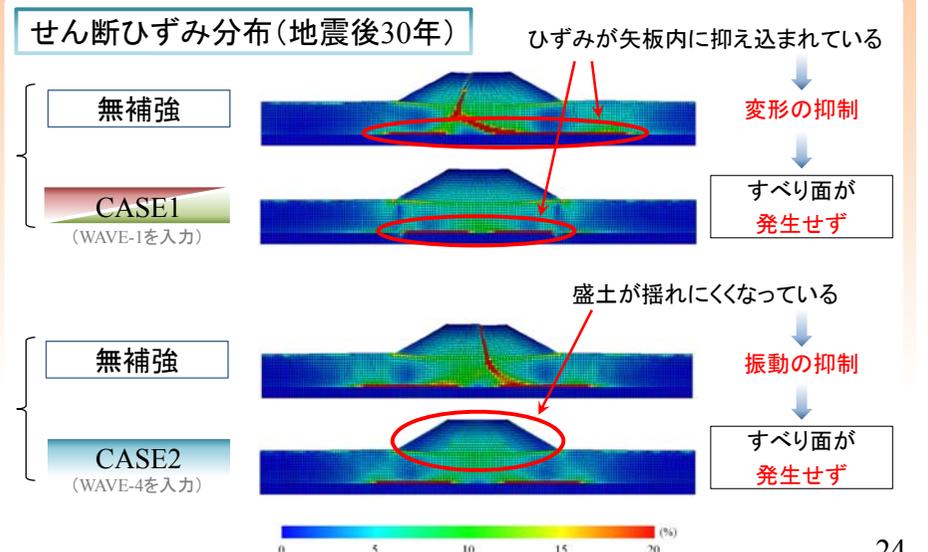
- CASE2において、盛土を補強
- 盛土が揺れにくくなっている
- 系に対してMODE-3があまり寄与しない
- MODE-3の刺激係数の減少と同じ意味を持つ (実際、刺激係数は大幅に減少し、順位も落ちている)
- MODE-3で揺れなくなった分、他のモードで寄与分を受け持つ
- 第1位であり補強されてない部分でもある地盤モードの刺激係数が増加



* ()内は無補強時の値 23

5 本研究の適用「補強」

補強概要 | 固有値解析 | 入力地震波 | 地震応答解析



24