

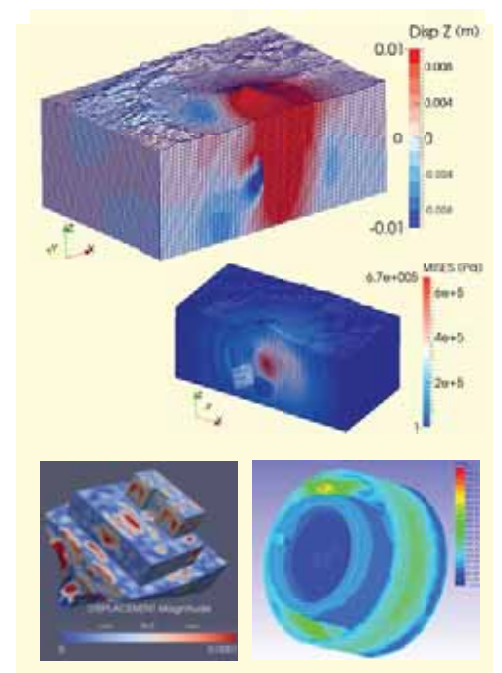
構造解析ソフトウェア Advance/ FrontSTR最新動向セミナー

2015年11月26日(木)開催

プログラム

| | | |
|-------------------|---|-------------|
| 13:30~13:40 (10分) | 主催者あいさつ アドバンスソフト株式会社のご紹介..... | 3 |
| | | 研究主席 原田 昌紀 |
| 13:40~14:30 (50分) | 特別講演 「Advance/ FrontSTR を用いたバラスト軌道の動的応答解析」 | 7 |
| | 公益財団法人鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部 軌道力学 相川 明 様 | |
| 14:30~15:00 (30分) | 構造解析ソフトウェア Advance/ FrontSTR を用いた 地震およびマグマのシミュレーション..... | 43 |
| | | 主管研究員 菊池 愛子 |
| 15:00~15:10 (10分) | 休憩 | |
| 15:10~15:35 (25分) | 構造解析ソフトウェア Advance/ FrontSTR の概要と新機能 | 59 |
| | | 主任研究員 袁 熙 |
| 15:35~15:50 (15分) | 構造解析ソフトウェア Advance/ FrontSTR とスパコンを使用した 大規模計算への取り組み..... | 69 |
| | | 研究員 尾川 慎介 |
| 15:50~16:15 (25分) | 汎用プリポストプロセッサ Advance/ REVOCAP の概要と特長..... | 81 |
| | | 主任研究員 徳永 健一 |
| 16:15~16:25 (10分) | 価格および関連サービスご紹介、質疑応答..... | 非公開 |
| | | 営業部 河野 裕暢 |

memo



アドバンスソフト株式会社のご紹介

研究主席 原田 昌紀

構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTR 最新動向セミナー
2015年11月26日（木）
アドバンスソフト株式会社

会社概要

名称 アドバンスソフト株式会社
(英文社名 AdvanceSoft Corporation)

本社 〒101-0062
東京都千代田区神田駿河台4-3
新お茶の水ビル17階
TEL: 03-6826-3970
FAX: 03-5283-6580

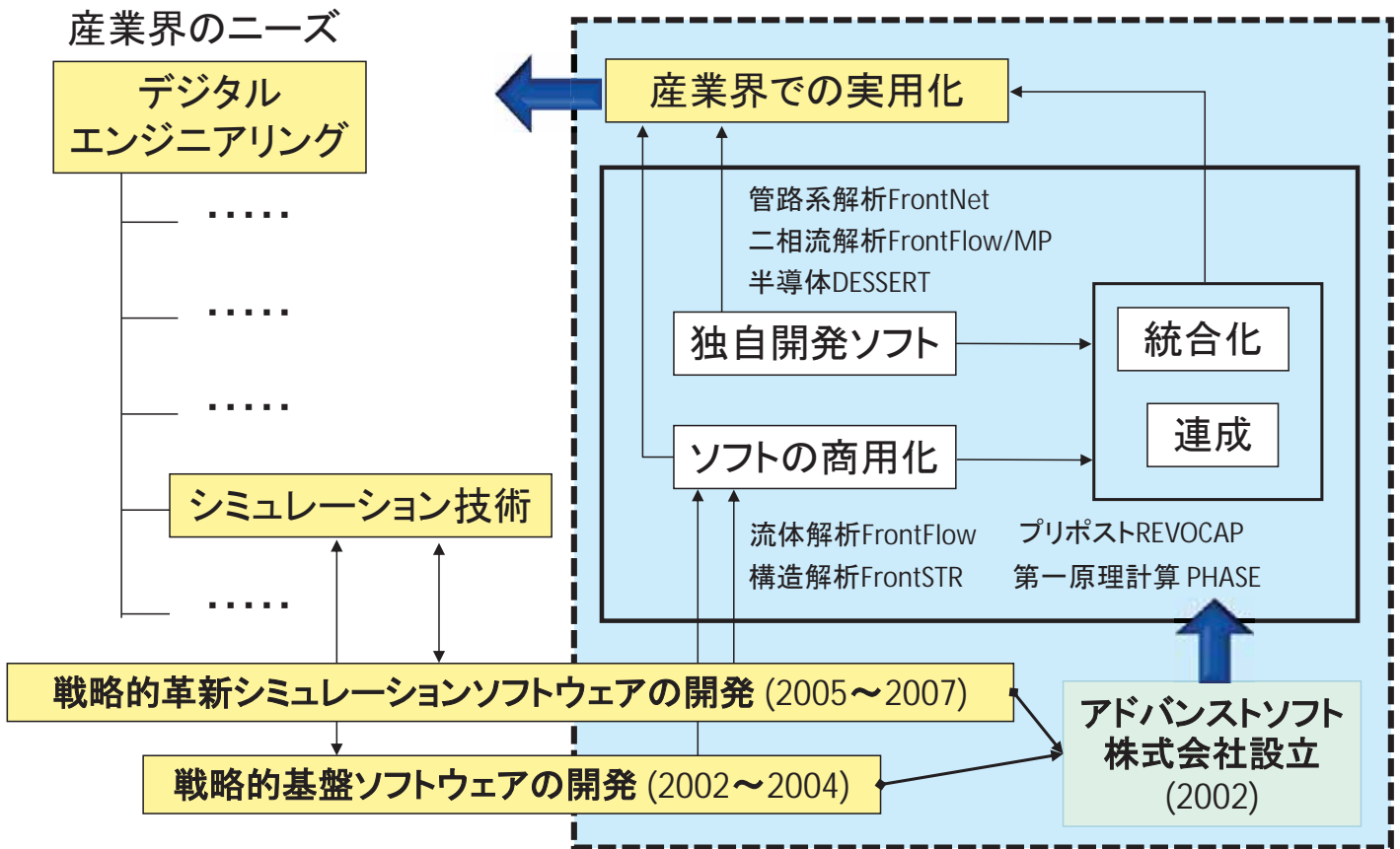
設立 2002年(平成14年)4月24日

資本金 3,724万円

社員数 77名(2015年10月1日現在)

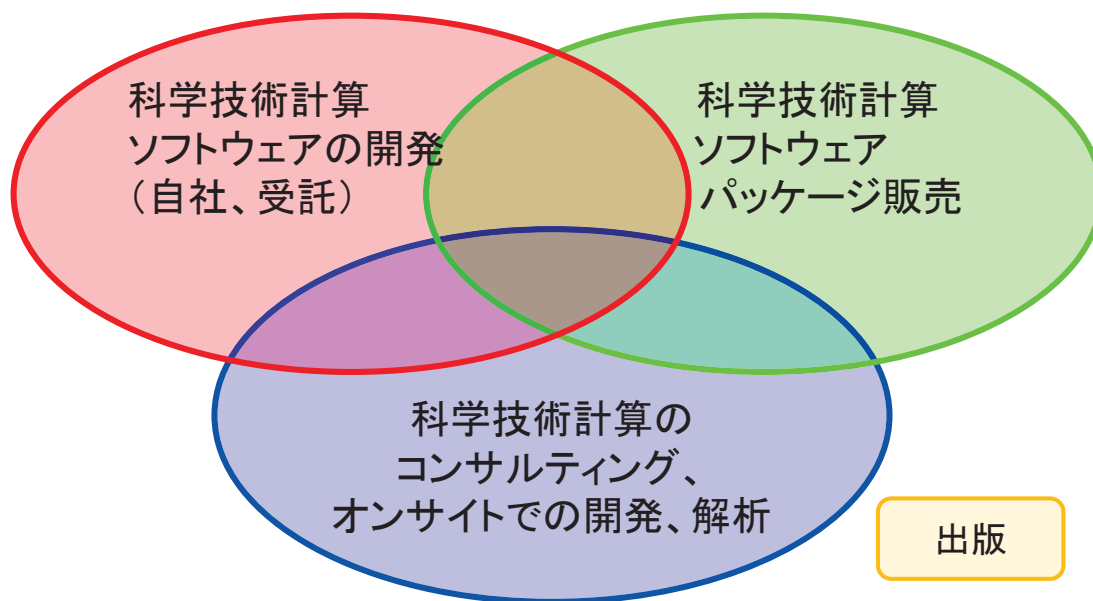
| 事業部 | 部 | 業務概要 |
|-------|-------|--|
| 第1事業部 | 技術第1部 | ・ナノ材料の第一原理計算、量子化学計算やメソ領域の開発など |
| | 技術第2部 | ・プリポスト・可視化システム・連成システム開発、構造解析エンジニアリングなど |
| | 技術第6部 | ・次世代TCADシステムの開発 ・環境関連の開発、解析業務 |
| 第2事業部 | 技術第4部 | ・混相流に係わる次世代流体システム開発など |
| | 技術第5部 | ・原子力・エネルギー利用に係る安全性解析など |
| 第3事業部 | 技術第3部 | ・乱流、燃焼、化学反応等に係わる次世代流体システム開発など |
| | 技術第7部 | ・J-PARCに係わるプロジェクトの実施等 ・発電・化学プラントやライフライン等の管路系流体解析エンジニアリング業務、次世代流体解析システム保守・販売サポート |
| — | 総合企画部 | ・スーパーコンピューティングサービス ・防災シミュレーション ・コンサルティングサービスの提供 ・解析サービスの提供 |
| 営業本部 | 営業部 | ・お客様窓口 |
| 東海事業所 | | ・お客様窓口 |

アドバンスソフトとは



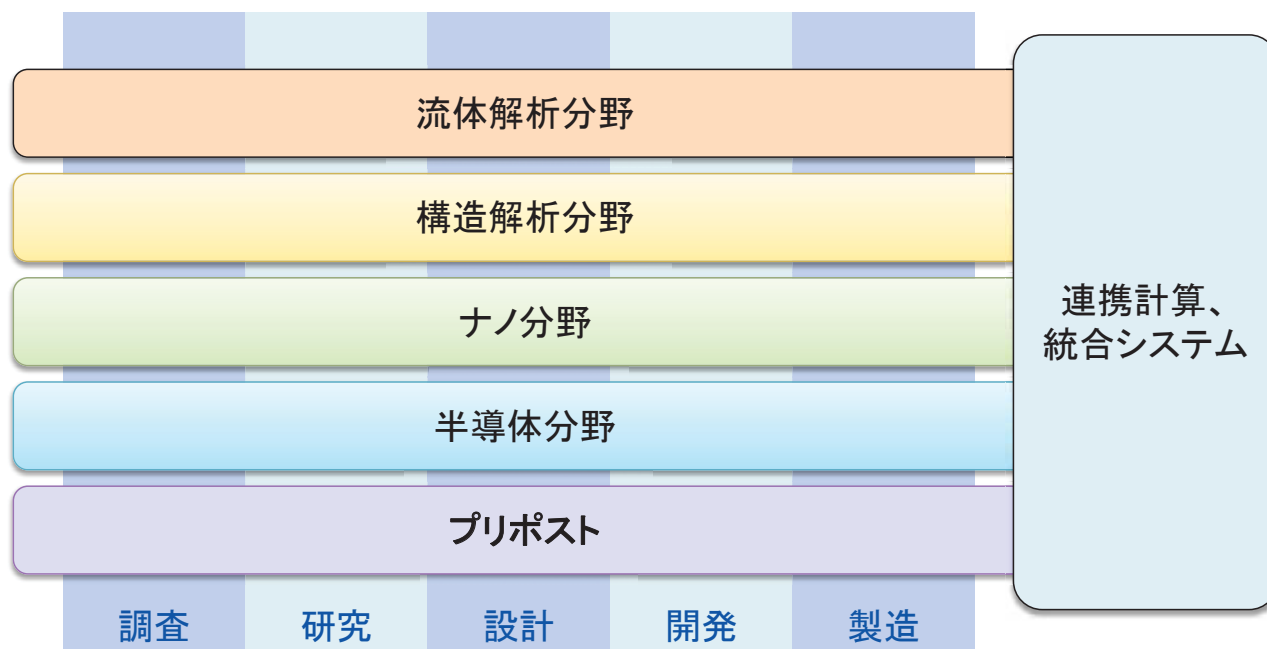
事業内容

アドバンスソフトがご提供するサービス



科学技術計算ソフトウェアの開発を基礎とした、科学技術計算に関する様々なソリューションをご提供します。

事業分野



産業の主要な分野のあらゆるフェーズで直面する課題に対し、
科学技術計算によるソリューションをご提供します。

アドバンスソフトのパッケージソフトウェア

| ソフトウェア名称 | 解析内容 |
|-------------------------|--------------------|
| Advance/PHASE | 第一原理計算ソフトウェア |
| Advance/FrontSTR | 構造解析ソフトウェア |
| Advance/FrontNoise | 音響解析ソフトウェア |
| Advance/DESSERT | 半導体デバイスシミュレータ |
| Advance/REVOCAP | 構造解析・流体解析プリポストプロセス |
| Advance/FrontFlow/red | 流体解析ソフトウェア |
| Advance/FrontFlow/MP | 気液二相流解析ソフトウェア |
| Advance/FrontFlow/FOCUS | 高速流・爆発解析ソフトウェア |
| Advance/FrontNet | 管路系1次元流体解析ソフトウェア群 |

※上記は主要パッケージを掲載しています。詳細は弊社HP(www.advancesoft.jp)をご参照ください。

アドバンスソフトのパッケージソフトウェア

ナノ

Advance/PHASE

構造

Advance/FrontSTR

流体

Advance/FrontFlow/red Advance/FrontFlow/FOCUS

Advance/FrontNetシリーズ

Advance/FrontFlow/MP

半導体

Advance/DESSERT

プリポスト

Advance/REVOCAP

※上記は主要パッケージを掲載しています。詳細は弊社HP(www.advancesoft.jp)をご参照ください。

facebook、YouTubeでも関連記事を掲載中

<http://www.facebook.com/advancesoft.jp>

<http://www.youtube.com/user/advancesoft>



Advance/FrontSTRを用いた バラスト軌道の動的応答解析

(公財)鉄道総合技術研究所 (軌道力学) 相川 明

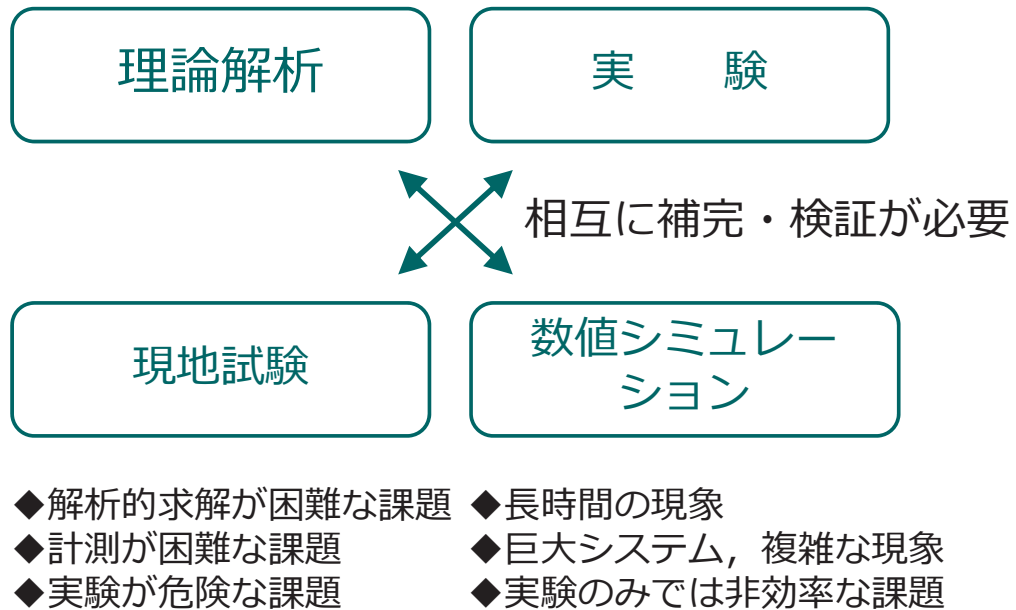
email: aikawa.akira.11@rtri.or.jp

1

研究の背景

2

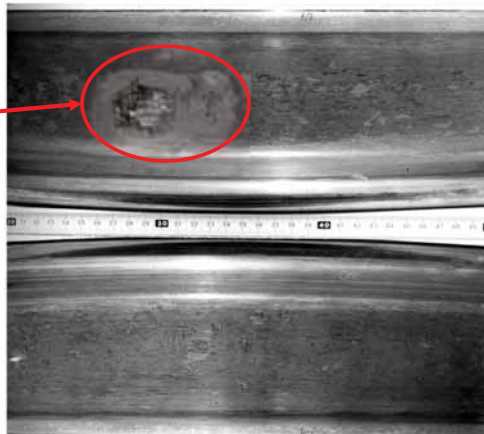
数値シミュレーションの基本的な考え方



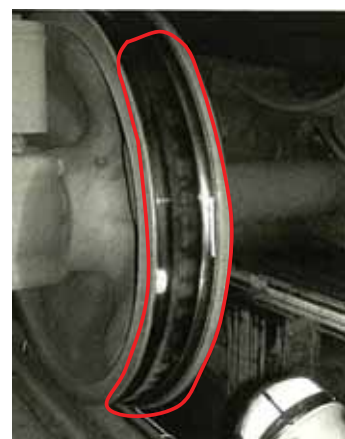
3

軌道に関する劣化現象（車輪）

- ・フラット : 制動時の車輪滑走による局所的な摩耗
- ・多角形摩耗 : 車輪に規則的な周期で生じる摩耗



フラット

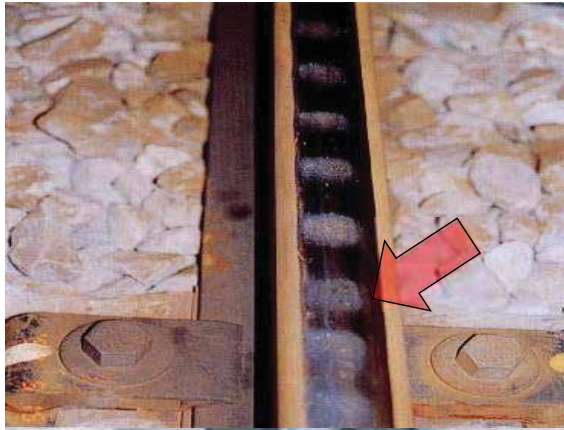


多角形摩耗

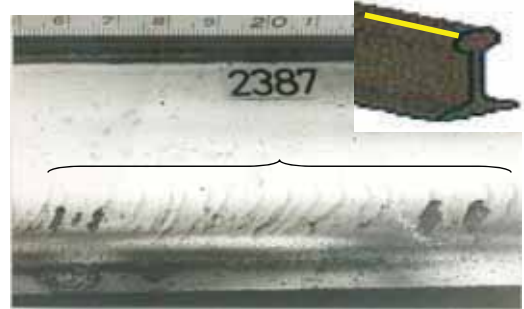
4

軌道に関する劣化現象（レール）

- ・波状摩耗 : レール頭頂面に規則的な周期で起こる摩耗
- ・きしみ割れ : レール頭側部（車輪のフランジと接する部分）に起こる亀裂・剥離



波状摩耗



きしみ割れ

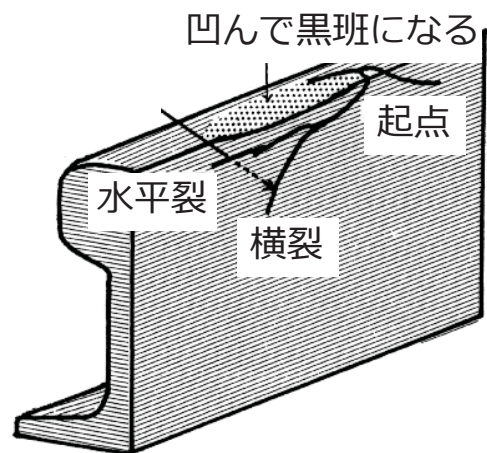
5

軌道に関する劣化現象（レール）

- ・シェリング : レール頭頂面にできる「貝殻状」の凹み
⇒ 亀裂が鉛直方向に延びる(横裂)と破断の危険も



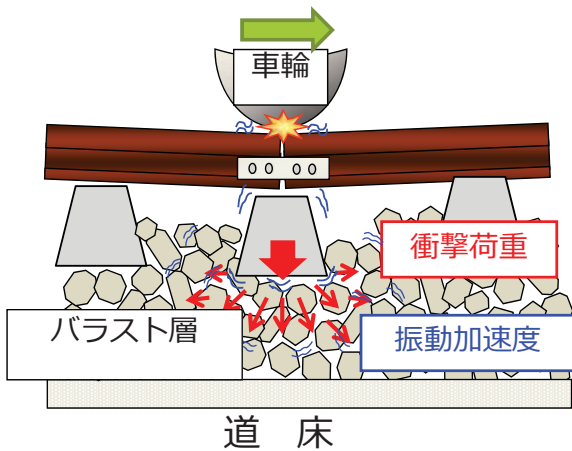
レールシェリング



各種の事例に対し、理論的なメカニズムの解明が必要

6

軌道に関する劣化現象（バラスト）

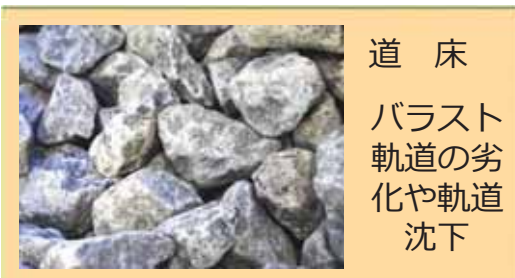
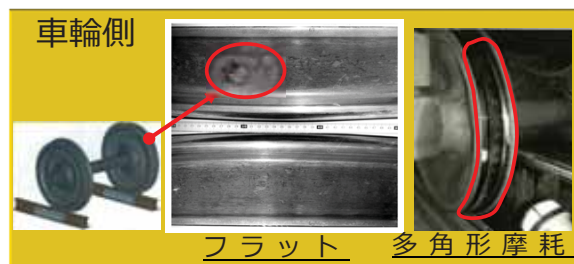
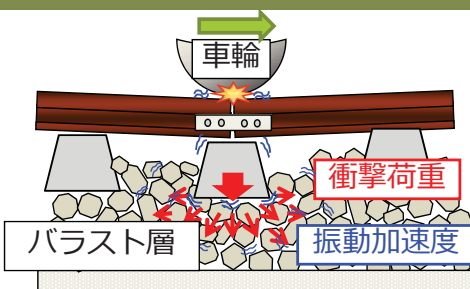


夜間の人手による維持管理作業が必須
経常に膨大な維持管理費が必要

1. バラストの摩耗・劣化
2. バラストの移動や側方流動
3. 軌道面の不同沈下

7

軌道に関する劣化現象



安全性
乗り心地
騒音

劣化のメカニズムは未解明であり、定期的なメンテナンスによる対処が基本
現象解明が進めば、より適切なメンテナンス頻度形状設計につなげられる

8

問題設定と開発方針

9

解析で対象とする周波数について

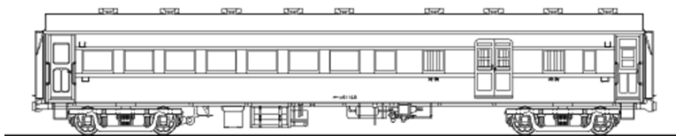
新幹線270 km/hで走行すると仮定



秒速75 m/s (約3両分, 12軸) → 平均12Hz

秒速75 m/s ÷ 2.5m(軸距) → **30 Hz**

在来線140 km/hで走行すると仮定



秒速38.9 m/s (約2両分, 8軸) → 平均8Hz

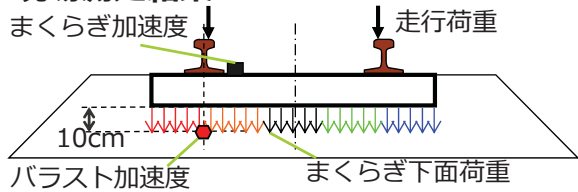
秒速38.9 m/s ÷ 2.0 m(軸距) → **20 Hz**

- ✓ 従来はおよそ30Hz以下の低い周波数領域のみに着目していた.
- ✓ 現場測定においてノイズ無く測定する手法が無かった.

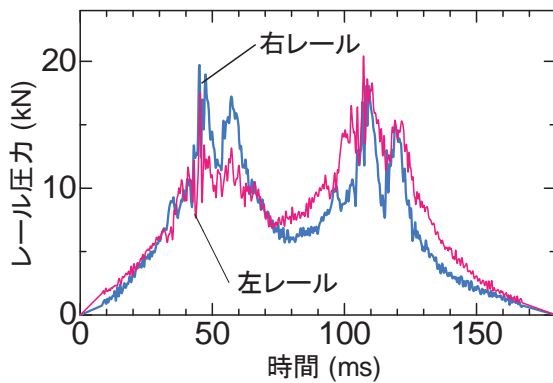
10

列車の衝撃荷重の周波数について

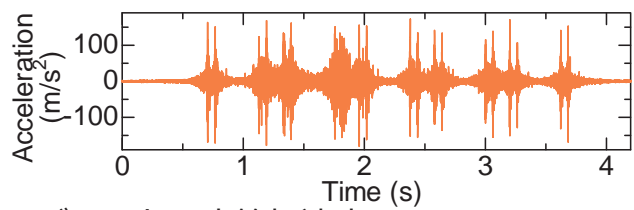
現場測定結果



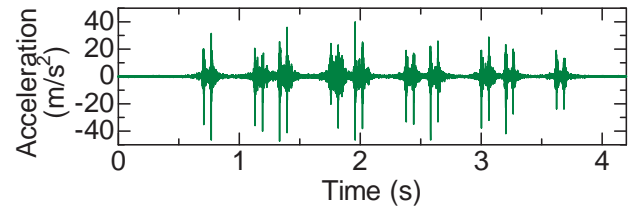
レール圧力の実測波形



まくらぎの応答加速度



バラストの応答加速度

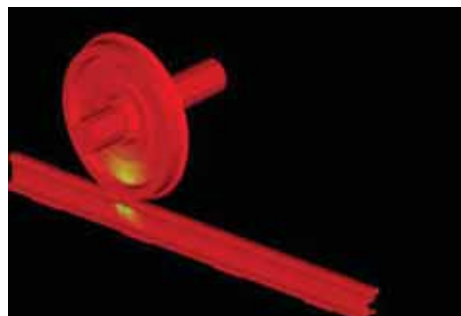


- ✓ 実測値のパルス波形は数kHzまでの高周波域の振動成分を含んでいる.
- ✓ まずは軌道構造に関する1kHzまでのすべての固有振動モードを再現するモデルを構築する.

11

ソフトウェアと開発の方針

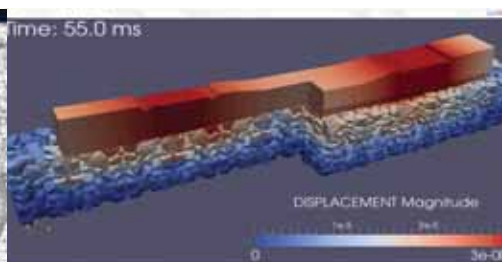
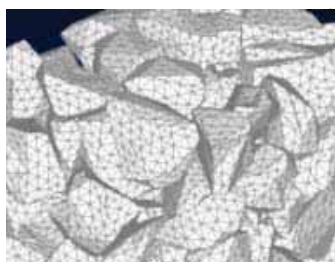
■ 車輪・レール間の弾塑性動的転がり接触解析



(開発の方針)

- ✓ 駆動トルクによる回転走行機能が必要
- ✓ 公開版のFrontISTRに機能を追加する (東京大学奥田教授との共同開発)

■ バラスト粒状集合体の動的応答解析



- ✓ 大規模計算・非線形ばね要素・直接法ソルバー
- ✓ 要素形状やばね等の機能が豊富な製品版 Advance/FrontSTR を利用

車輪/レール/バラストの動的挙動の 大規模シミュレーション

- 研究目的と本解析手法の特徴
- 弾塑性動的転がり接触解析プログラムの開発
 - 一軸一輪モデルによる解析結果と検証
 - 脈動の原因特定（速度依存成分の特定）
 - 車輪・レール間の接触力（衝撃荷重）の卓越周波数
- バラスト・まくらぎ系の大規模過渡応答解析
 - まくらぎ-バラスト系の固有振動特性
 - 剛体振動モードと弾性振動モードの特定
 - 接触力の周波数特性とバラスト層の固有振動の関連性

13

弾塑性動的転がり接触解析プログラムの開発 (公開版をもとに東京大学奥田教授との共同開発)

14

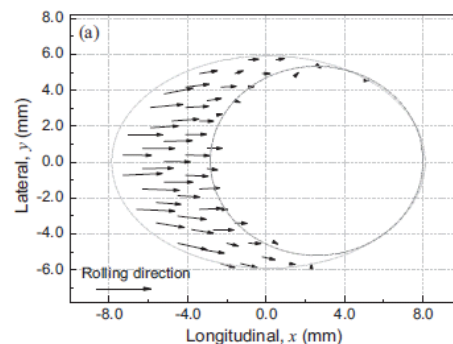
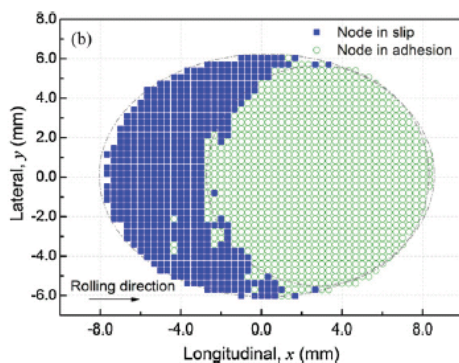
車輪・レール間の接触挙動評価の既存アプローチ

- 理論的アプローチ
 - Hertzの接触理論
 - 車輪・レール形状の単純化や2次元解析
 - 弾性範囲, 定常的な転動まで (静的/準静的)
- 数値解析的アプローチ
 - KalkerのCONTACT
 - 複雑形状/複雑な接触 (スピンやフランジ接触)
 - 三次元境界要素法プログラム (法線方向・接線方向)
 - 非線形材料の取り扱いが弱い
 - FEMモデルによる数値シミュレーション
 - 材料非線形
 - より現実的な接触の取り扱い より厳密な物理現象の模擬
 - 動解析

15

接触解析の評価対象と必要なメッシュサイズ

- わずか数センチ四方の領域で固着・滑り状態が分布
- 接触領域の精緻な評価には, 1ミリ以下の離散化が必要



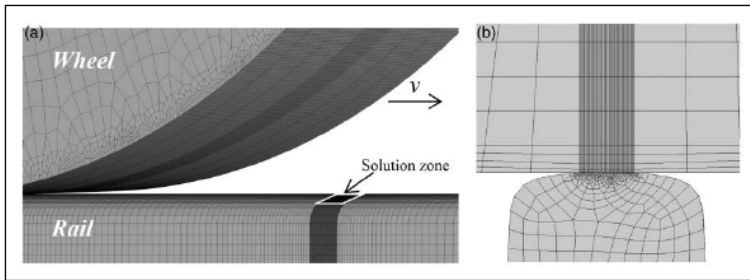
接触領域における固着/滑り分布

接触領域における微視すべり

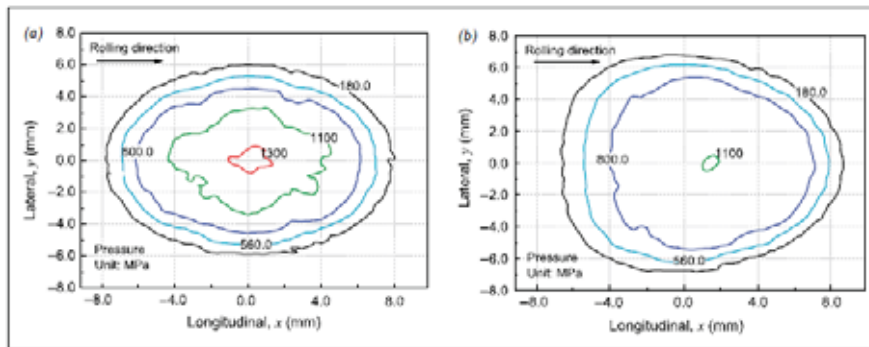
X. Zhao, Z. Li, The solution of frictional wheel-rail rolling contact with a 3D transient finite element model: Validation and error analysis, Wear, 271, pp.444-452, 2011.

16

関連研究：Zhao and Liの三元動的FEモデルによる車輪・レール転がり接触解析



ANSYS/LS-DYNAを利用
評価帯のみ
ファインメッシュ



解析結果例
弾性 (左)
弾塑性 (右)

17

本解析手法の主な特徴

- 大規模並列計算によって接触部に一様なファインメッシュ（オンメモリ領域分割）
- キャタピラメッシュ機能による計算コストの節約（短いレール上で加速計算）
- レールモデル端部における無反射境界の導入



大規模並列有限要素法構造解析ソフトウェア「FrontISTR」をベースに
東京大学奥田教授と「車輪・レール間の転がり接触解析」ツールを開発

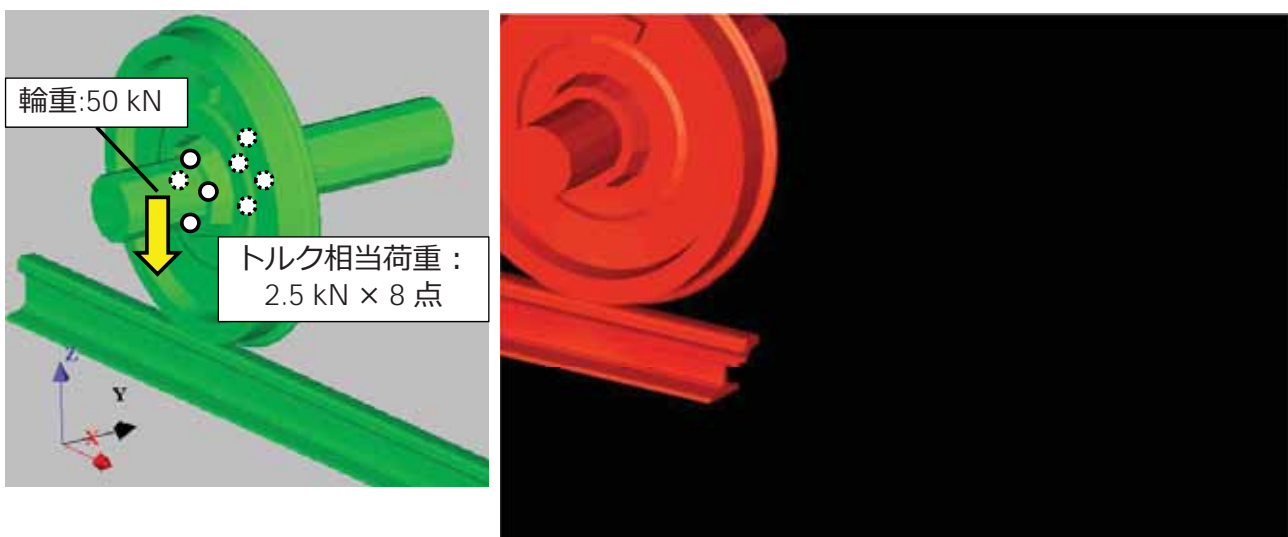
18

FrontISTRにおける動的・接触解析手法

- 弾性／弾塑性解析 Updated Lagrange法
 - 時間積分：Newmark β 法
 - 接触解析：法線方向つり合い条件「ラグランジュ乗数法」
接線方向つり合い条件「ペナルティ法」
 - 摩擦力を考慮（クーロン摩擦）
 - 領域分割法による並列計算
 - 行列方程式解法：分散並列用直接解法「MUMPS」
-
- 材質 新幹線車両の車軸・車輪鋼材, 60kgレール鋼材
 - 要素 8節点六面体要素

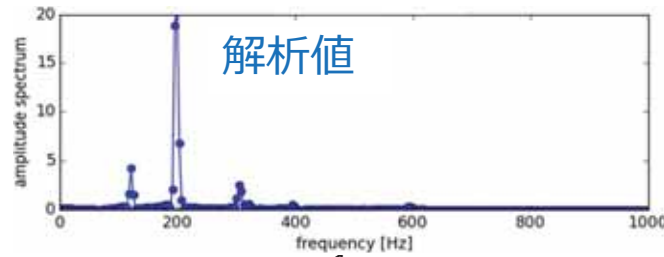
19

実形状の1軸1輪モデルの車軸に駆動トルクを加えて車輪を自走させる動的転がり接触解析(弾塑性解析)



20

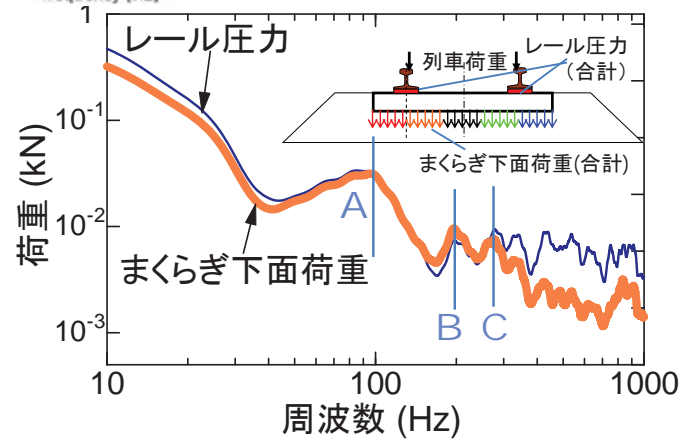
弾塑性動的転がり接触解析により得られた車輪・レール間の接触力（衝撃荷重）の卓越振動数



現場測定値

車輪・レール系の回転
走行時の固有振動数

| モデル | 固有振動数 |
|---------|--------|
| 10.80 m | |
| A | 98 Hz |
| B | 196 Hz |
| C | 314 Hz |

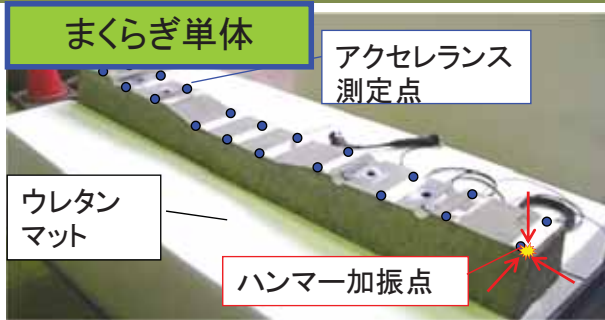


21

バラスト・まくらぎ系の実験モーダル解析 バラスト軌道実物大模型の加振実験

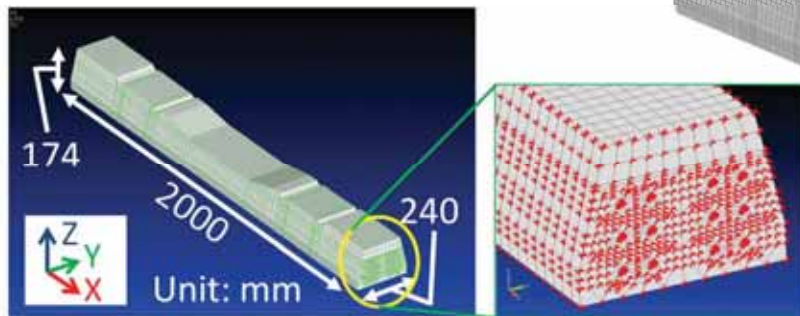
22

軌道構造部材の固有振動モード (三次元FEM解析と実物大モデルの加振試験)



まくらぎをモデル化

FEM固有モード解析



23

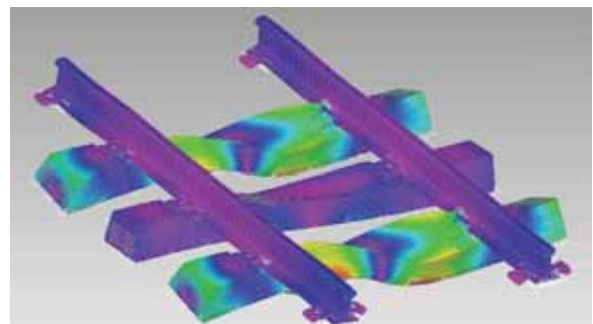
軌道構造部材の固有振動モード (三次元FEM解析と実物大モデルの打撃試験)

軌きょう構造

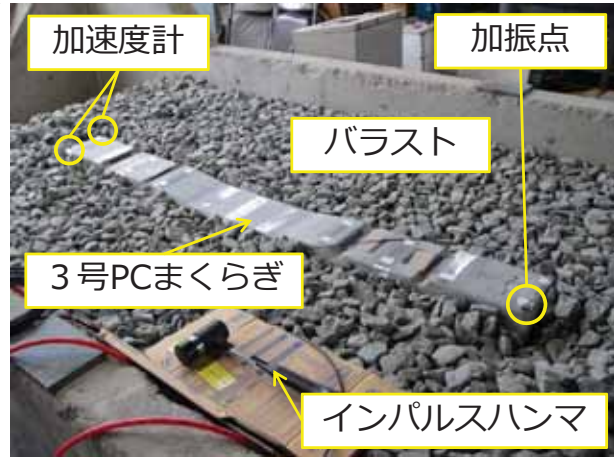
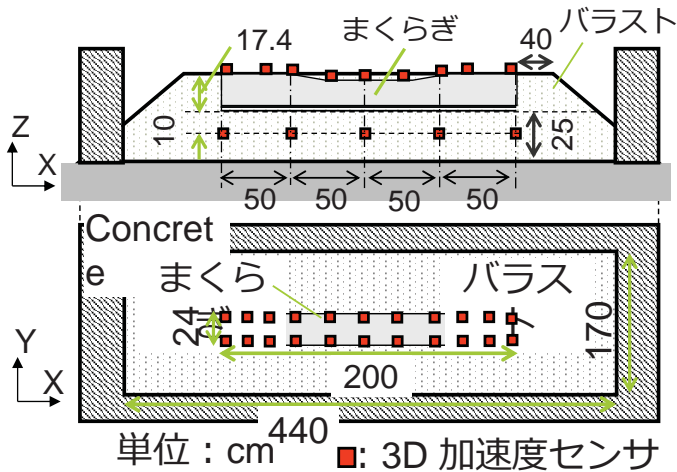


レール・締結装置・
パッド・まくらぎを
モデル化

FEM固有モード解析



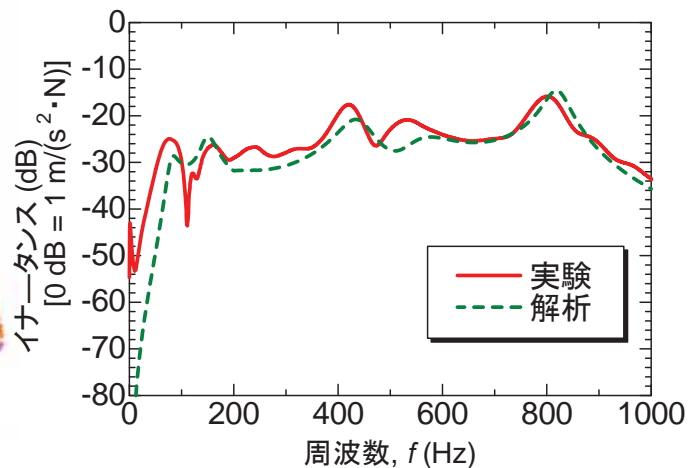
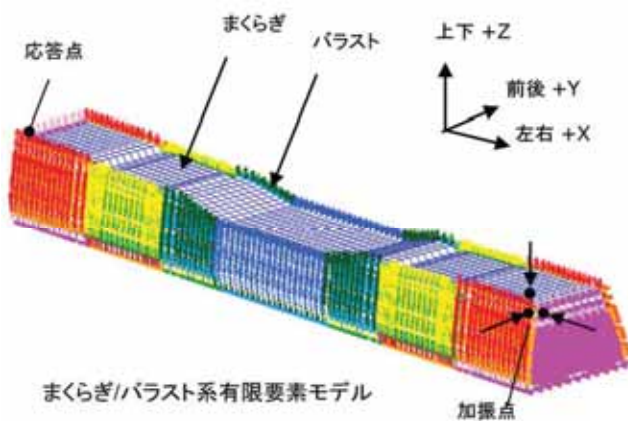
まくらぎバラスト系の実験モーダル解析(加振実験)



- ✓ まくらぎバラスト系の1000Hz までの固有振動数, バラストのばね係数および構造減衰特性を同定した。

25

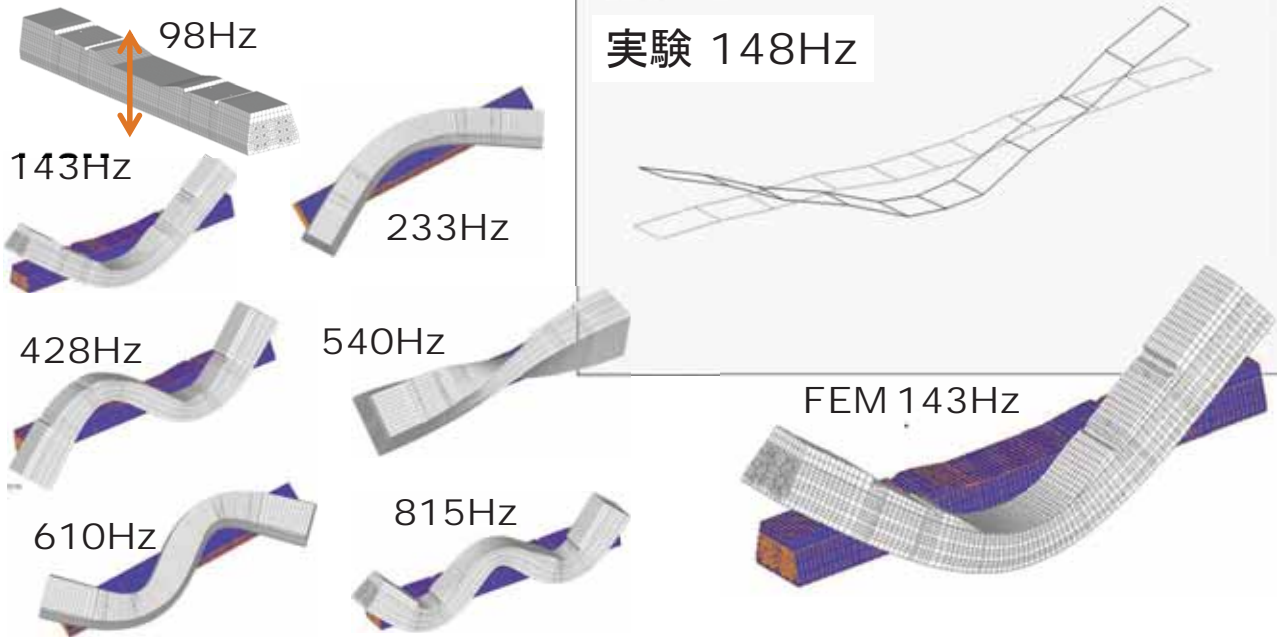
まくらぎバラスト系モデルの構築



- ✓ 1000Hz までの6個の剛体振動モードと6個の曲げ・ねじりモードすべてについて, 固有振動数と応答値を誤差5%以内で再現する。

26

まくらぎバラスト系モデルの構築



✓ 1000Hz までの固有振動数と応答値を誤差5%以内で再現する.

27

実軌道での動的応答測定

28

まくらぎ下面荷重の測定

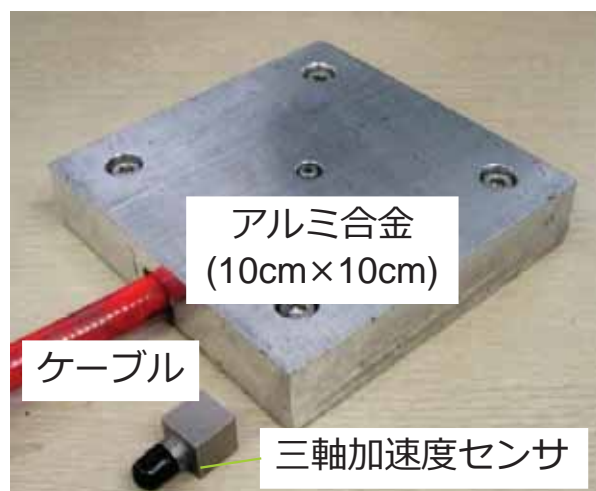


超薄型衝撃荷重センサ



29

バラストの加速度応答の測定



アルミ合金
(10cm×10cm)

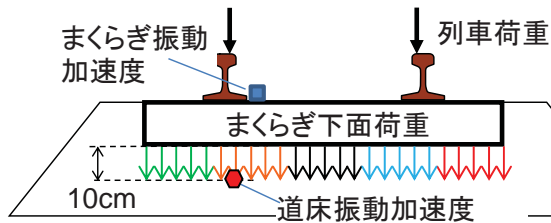
ケーブル

三軸加速度センサ

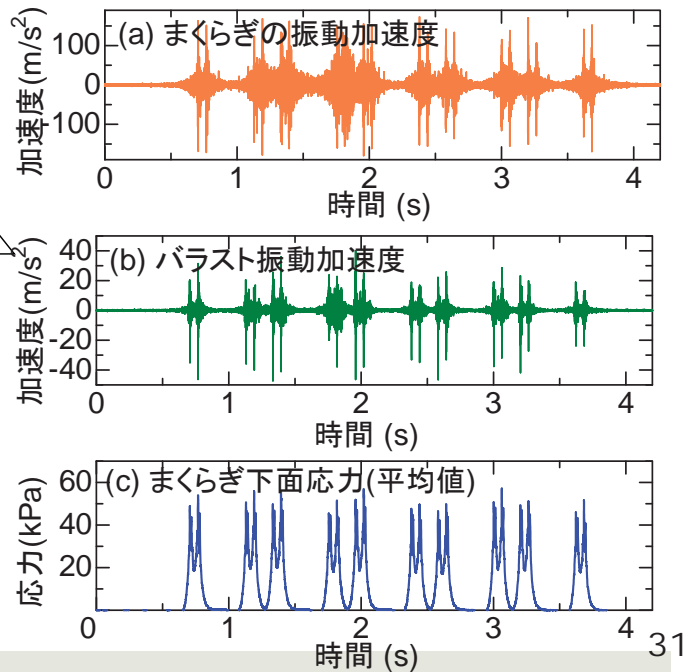
30

実軌道での動的応答測定

測定現場(在来線・直線)



センシングまくらぎ



特急列車(時速90km/h)通過時のまくらぎ下面応力

まくらぎ下面荷重の測定例

<測定条件>

特急車両の先頭車の1軸お

よび2軸通過時

走行速度：90 km/h

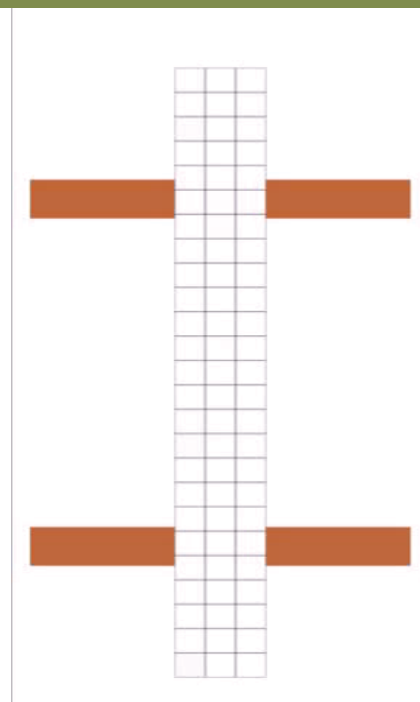
在来線バラスト軌道

砂質地盤上の直線区間

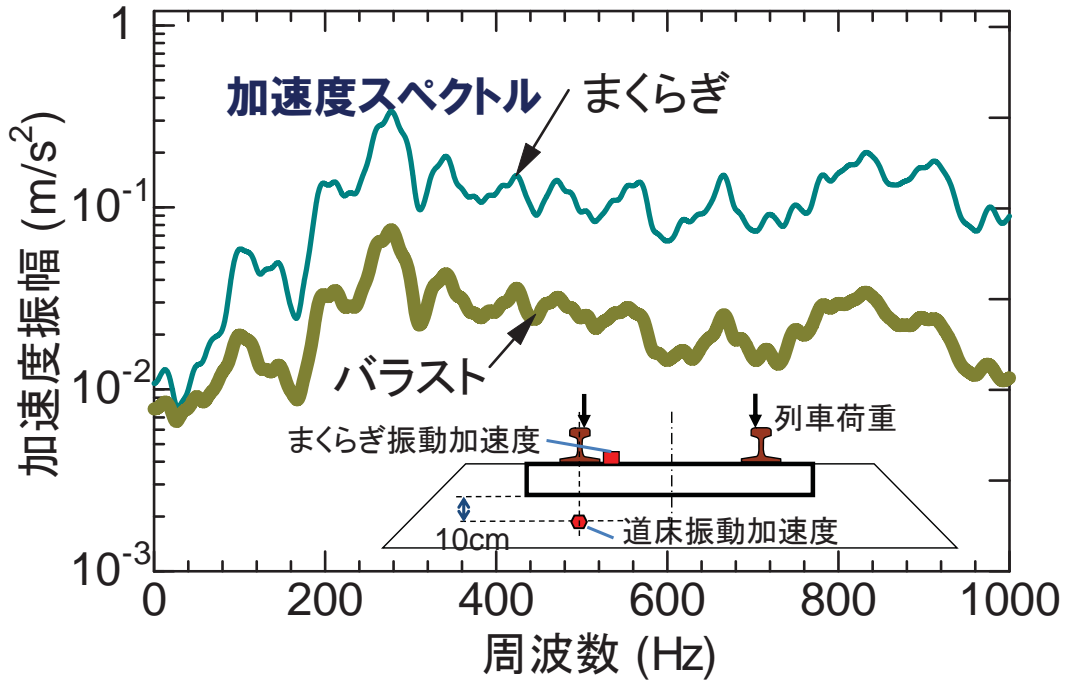
バラスト層厚：30 cm

60-kg/mロングレール

PC3号まくらぎ



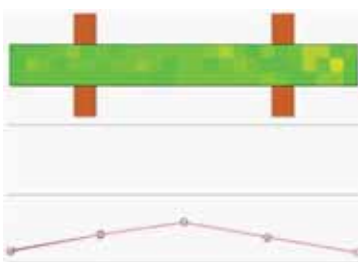
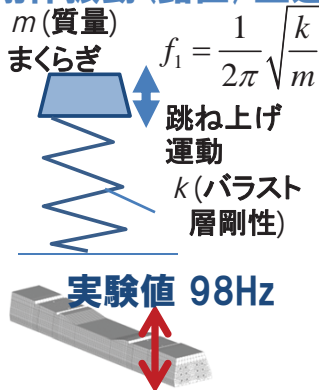
特急列車（走行速度110 km/h）通過時のバラストおよびまくらぎの加速度スペクトル



33

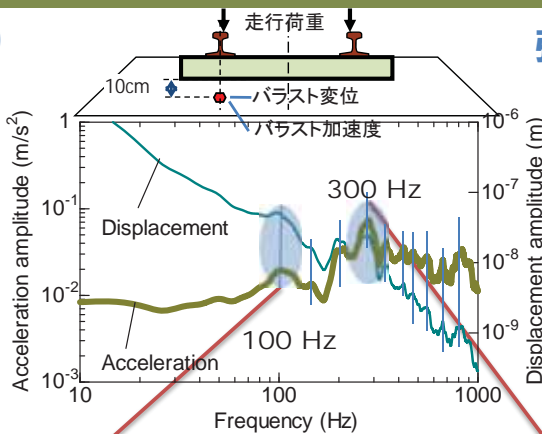
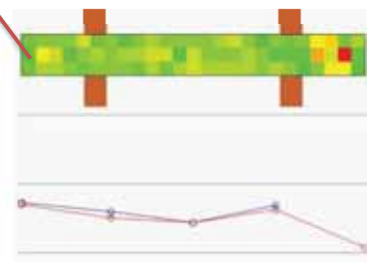
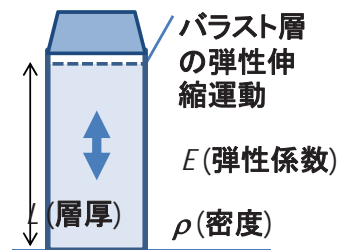
バラストの鉛直方向の振動特性（実測値）

剛体振動（鉛直/並進）



弾性振動（伸縮）

$$f_1 = \frac{1}{4L} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$



- (a) 100Hz近傍: 剛体振動
- (b) 300Hz近傍: 弾性振動

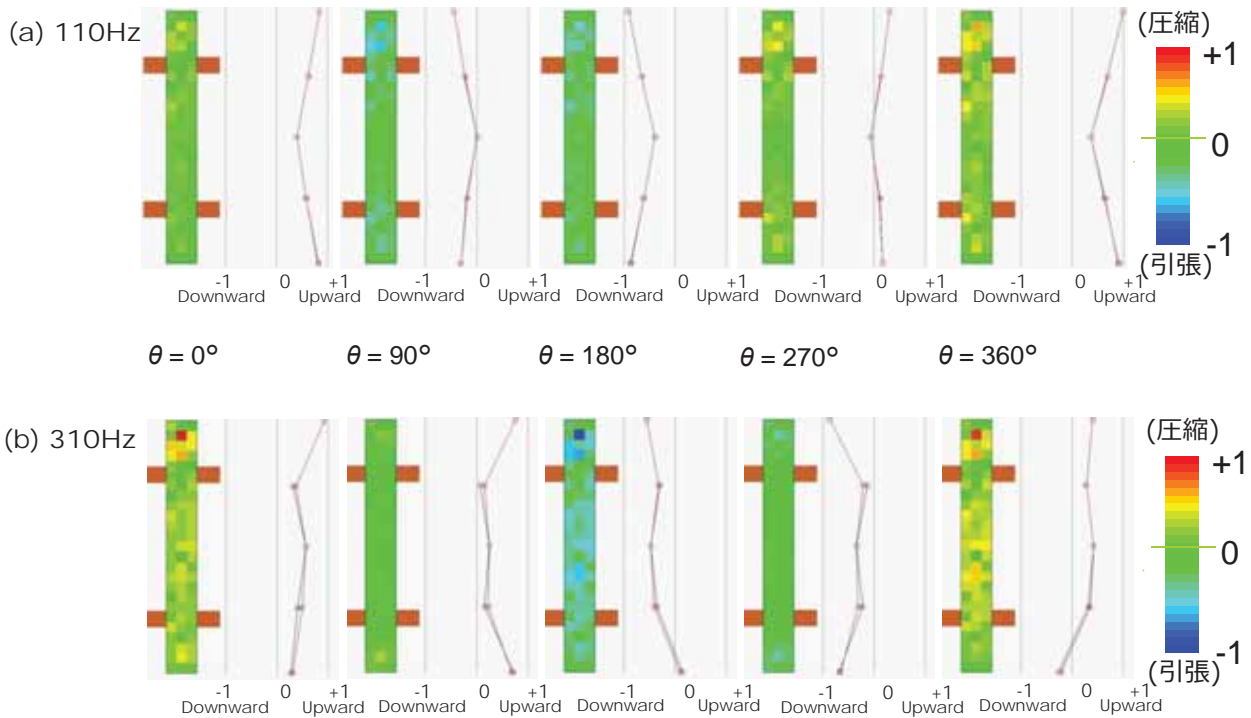
実測値ではバラスト層の固有振動と予想される。

(a) 110Hz

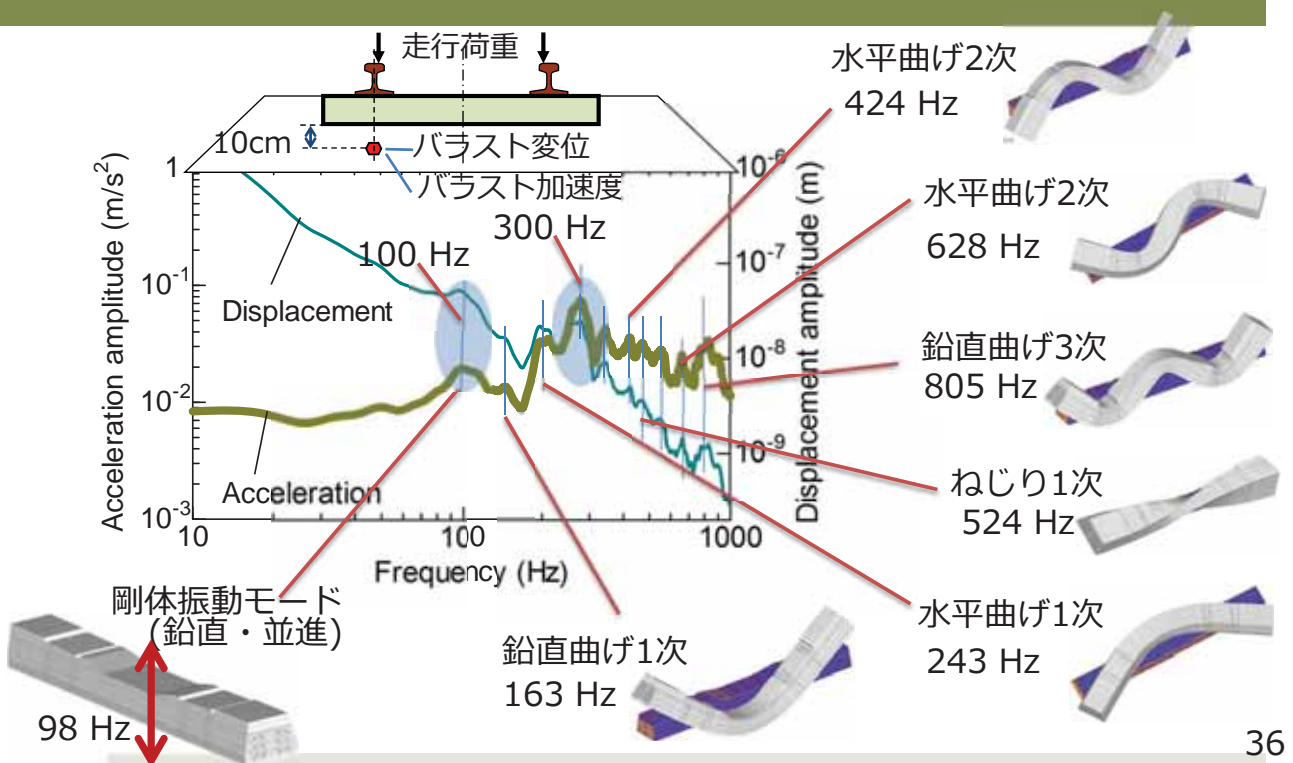
(b) 310Hz

34

バラストの鉛直方向の振動特性（実測値）



バラストの変位振幅と加速度振幅



実物大軌道模型による衝撃载荷試験

37

落錘衝撃载荷実験装置



38



重錘落下試験装置を用いた衝撃载荷実験



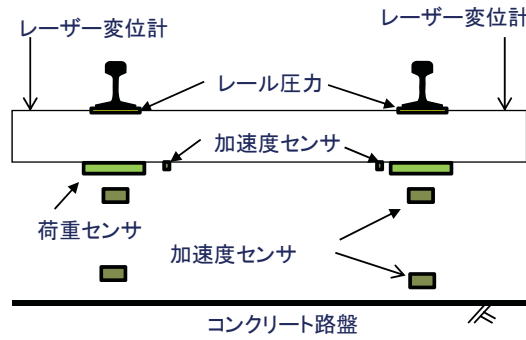
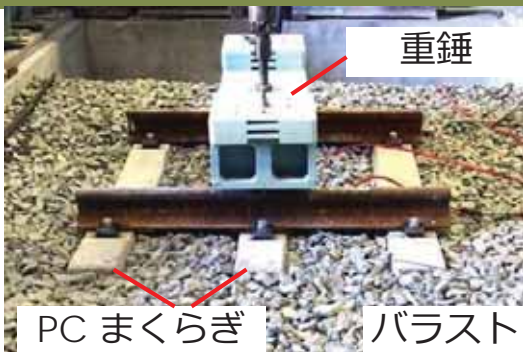
41

重錘落下試験装置を用いた衝撃载荷実験

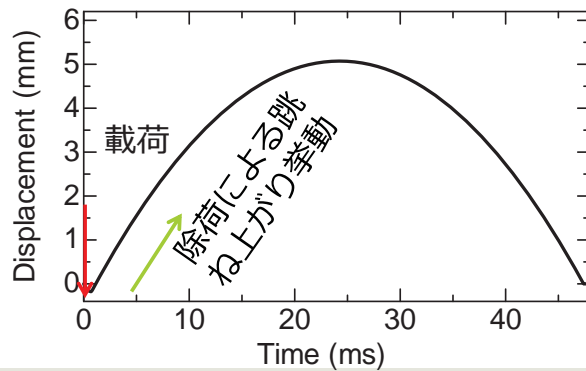
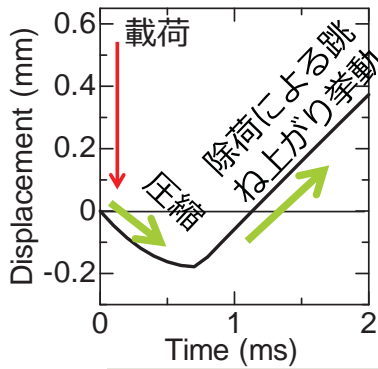


42

重錘落下試験装置を用いた衝撃载荷実験



衝撃荷重载荷時のまくらぎの鉛直変位 (実験による平均値)



衝撃荷重の平均値
左右合計 217 kN

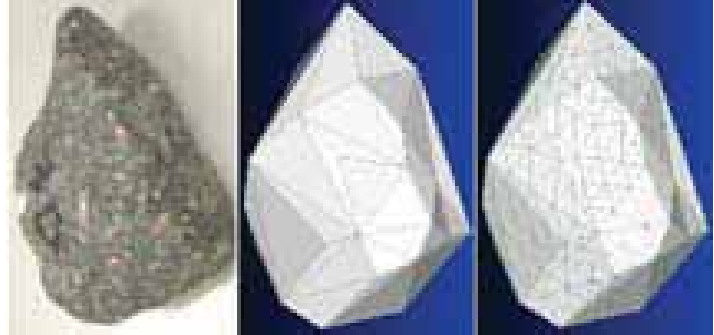
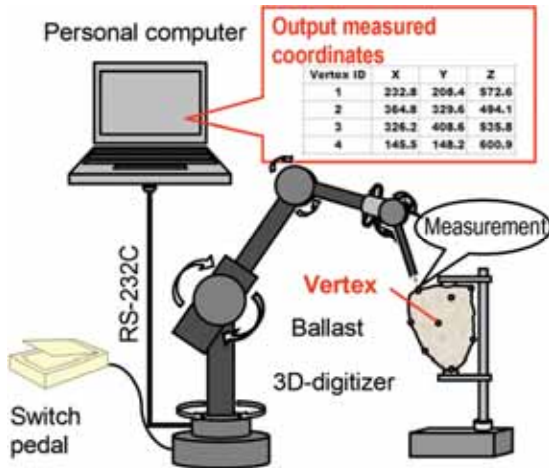
43

バラスト単体モデルの構築

44

バラスト単体モデルの作成

バラスト約4000個について
頂点座標の3次元測定を実施



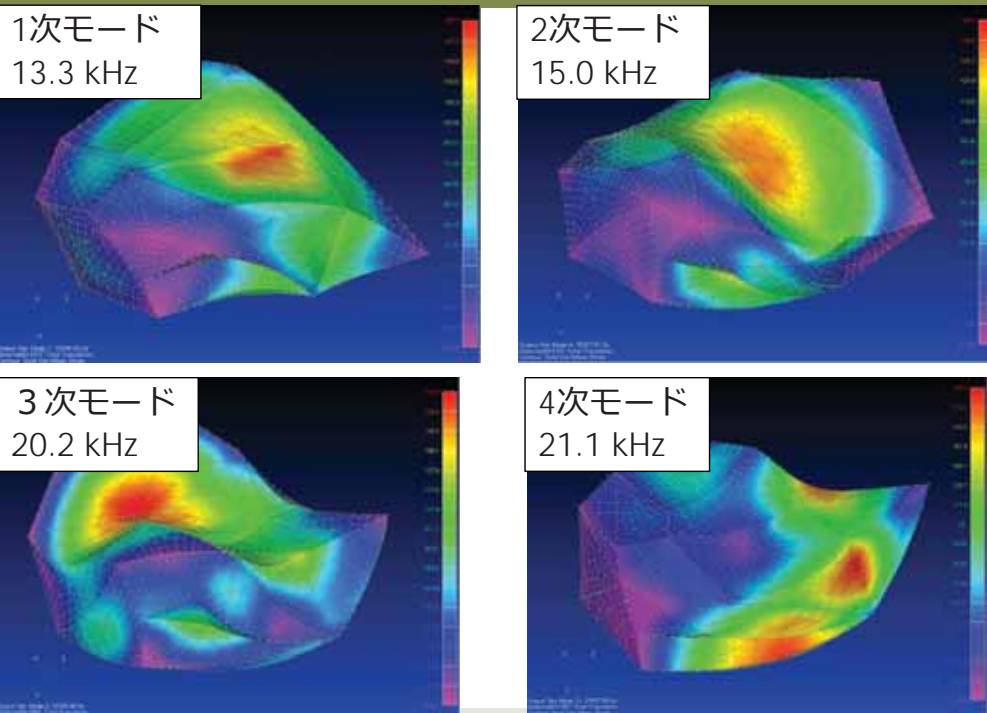
バラスト
形状測定

個別要素法
多面体モデル

有限要素法
四面体モデル

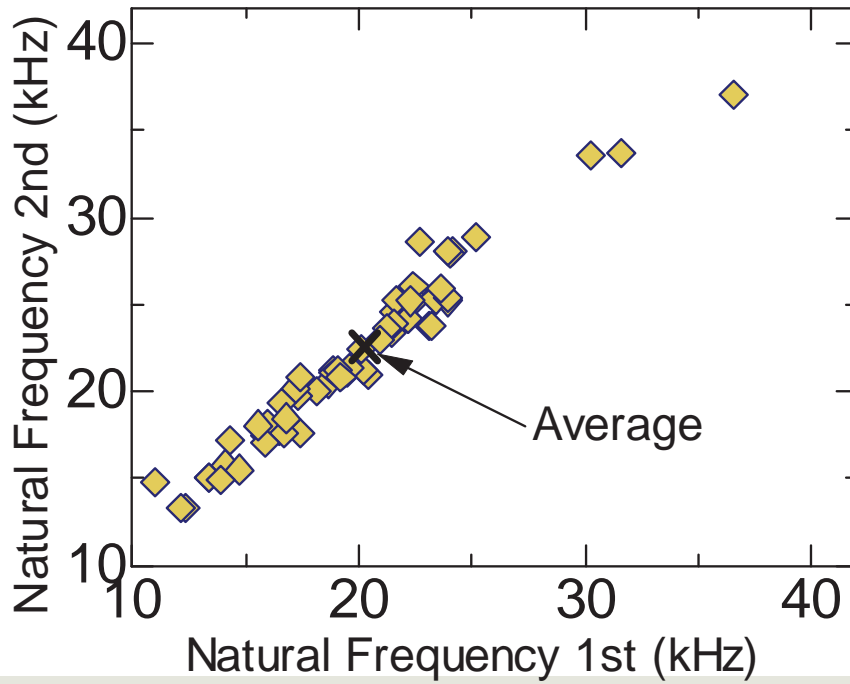
45

バラスト単体モデルの固有値解析例



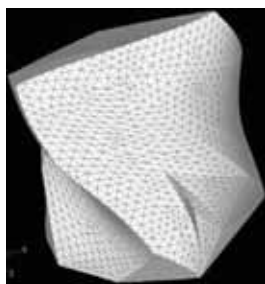
46

バラストの単体モデルの固有振動数

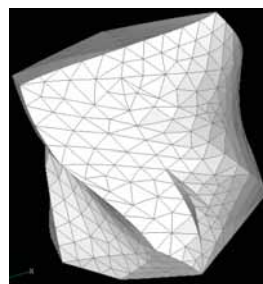


47

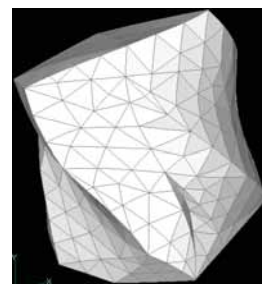
バラストの単体モデルの固有振動数



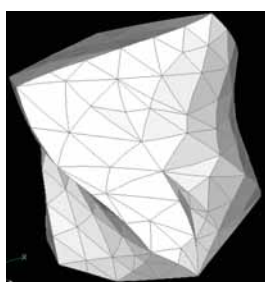
(a) 2 mm メッシュ



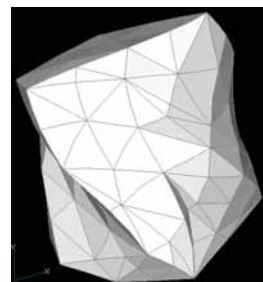
(b) 5 mm メッシュ



(c) 10 mm メッシュ



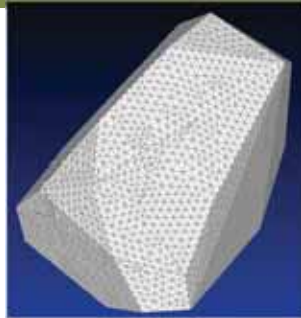
(d) 10 mmメッシュ



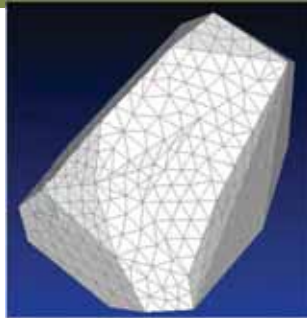
(e) 15 mmメッシュ

48

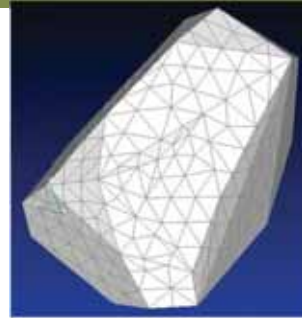
バラストの単体モデルの固有振動数



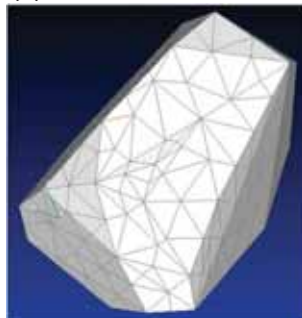
(a) 2 mm メッシュ



(b) 5 mm メッシュ



(c) 10 mm メッシュ



(d) 10 mmメッシュ



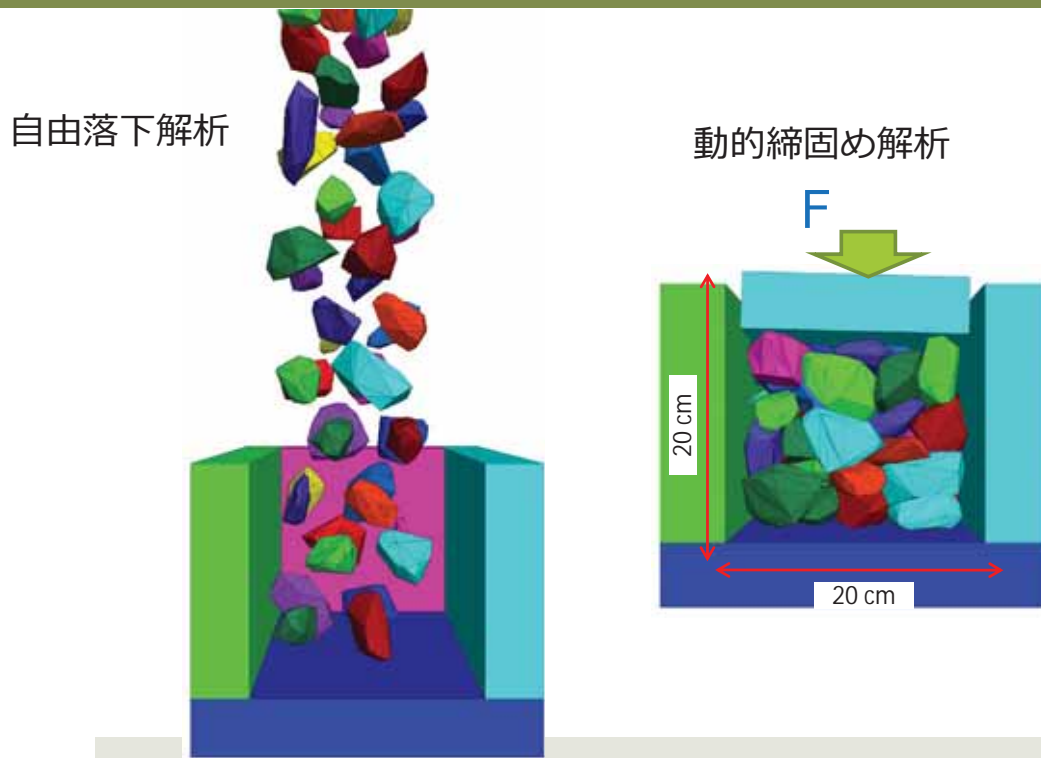
(e) 15 mmメッシュ

49

バラスト集合体ユニットモデルの構築

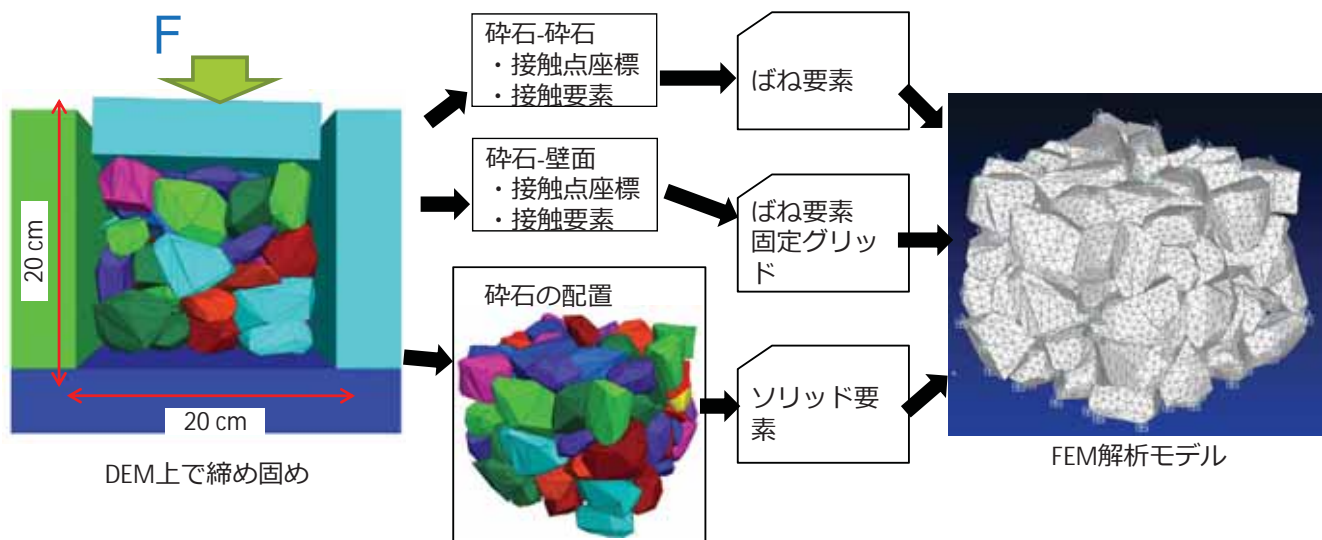
50

DEMによるバラスト多面体モデルの締め固め解析



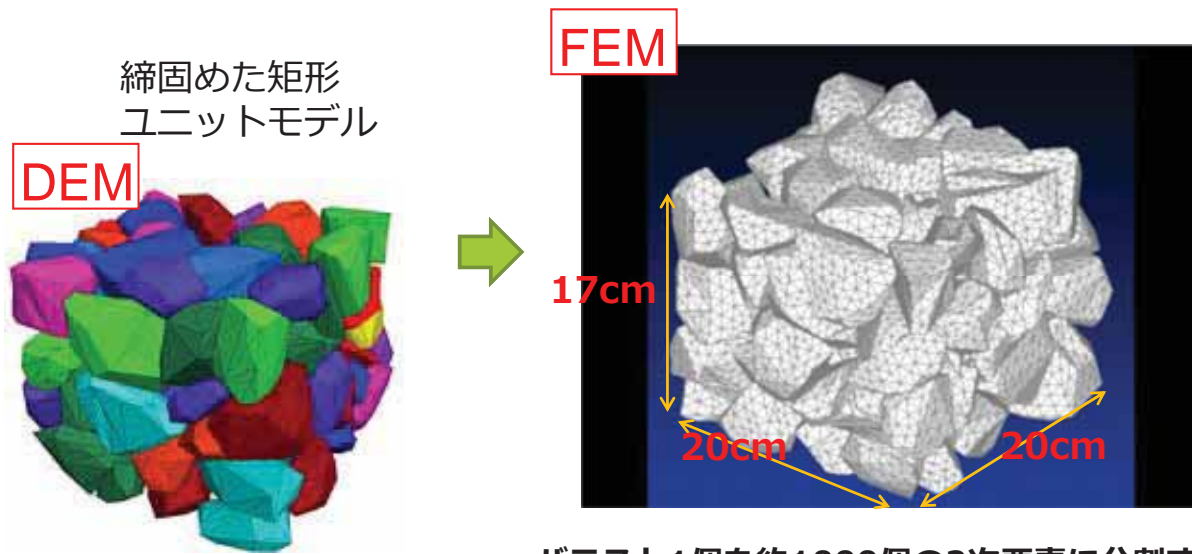
51

バラスト集合体ユニットモデルの構築



52

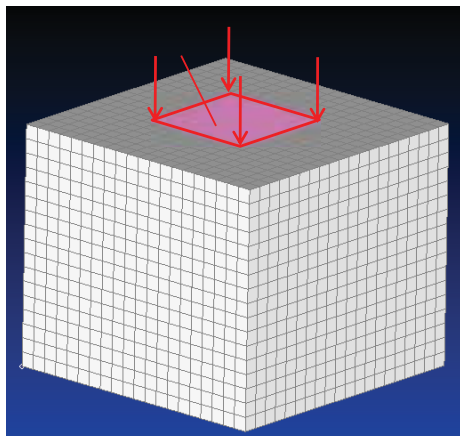
バラスト集合体ユニットモデルの構築



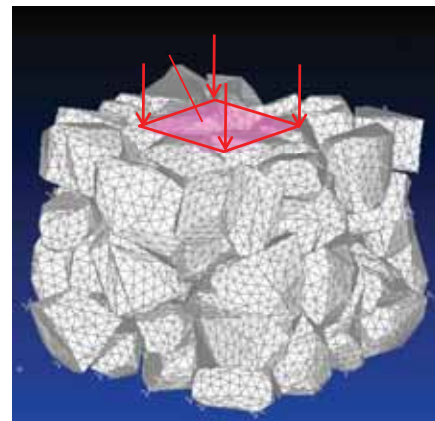
バラスト1個を約1000個の2次要素に分割する
約9万個の四面体2次要素に変換

53

バラスト集合体ユニットモデルの構築



(a) インタクトな岩塊モデル



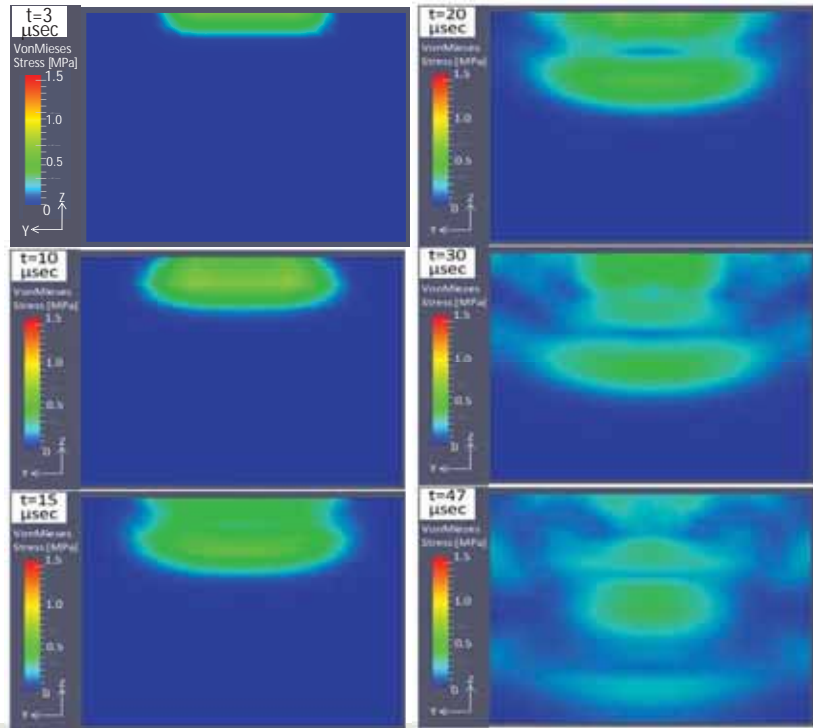
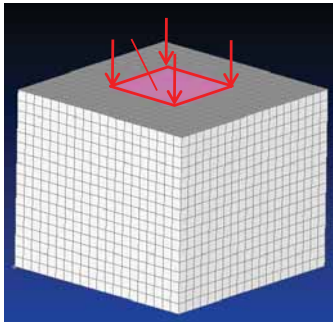
(b) バラスト集合体ユニットモデル

54

インタクテナ岩塊モデル

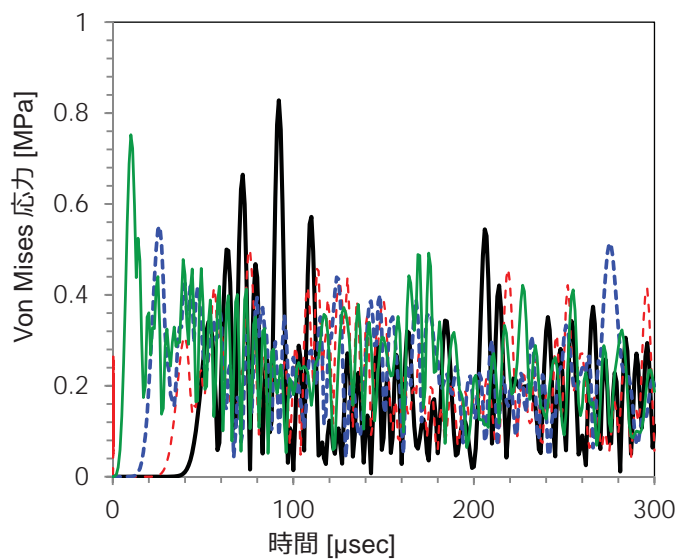


10 kN



55

インタクテナ岩塊モデル



モデル天端からの深さ

— Z=0.00 m

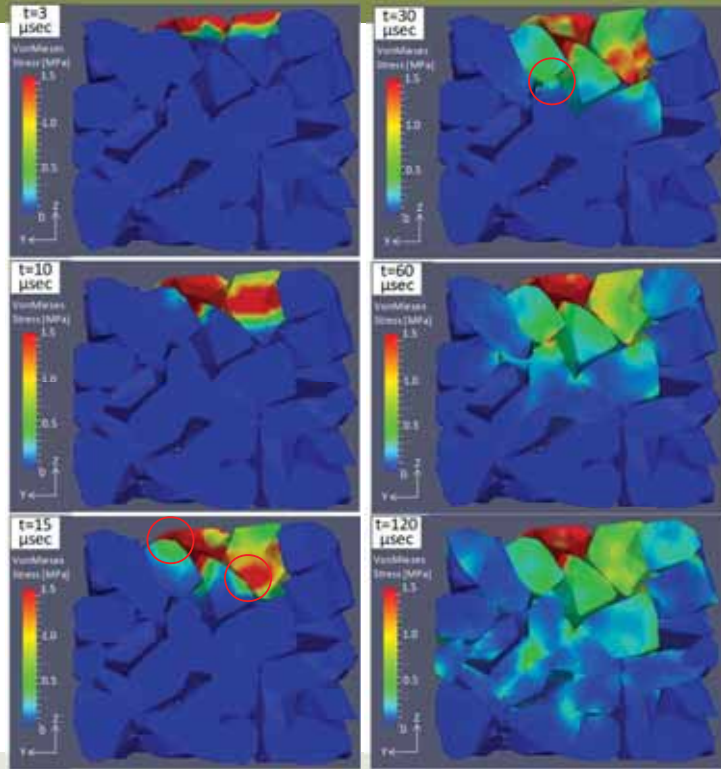
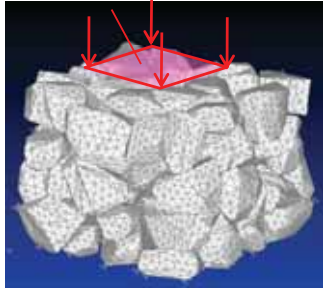
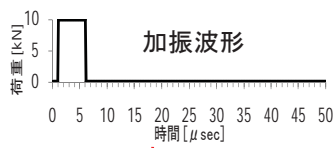
- - - Z=0.05 m

- - - Z=0.10 m

— Z=0.15 m

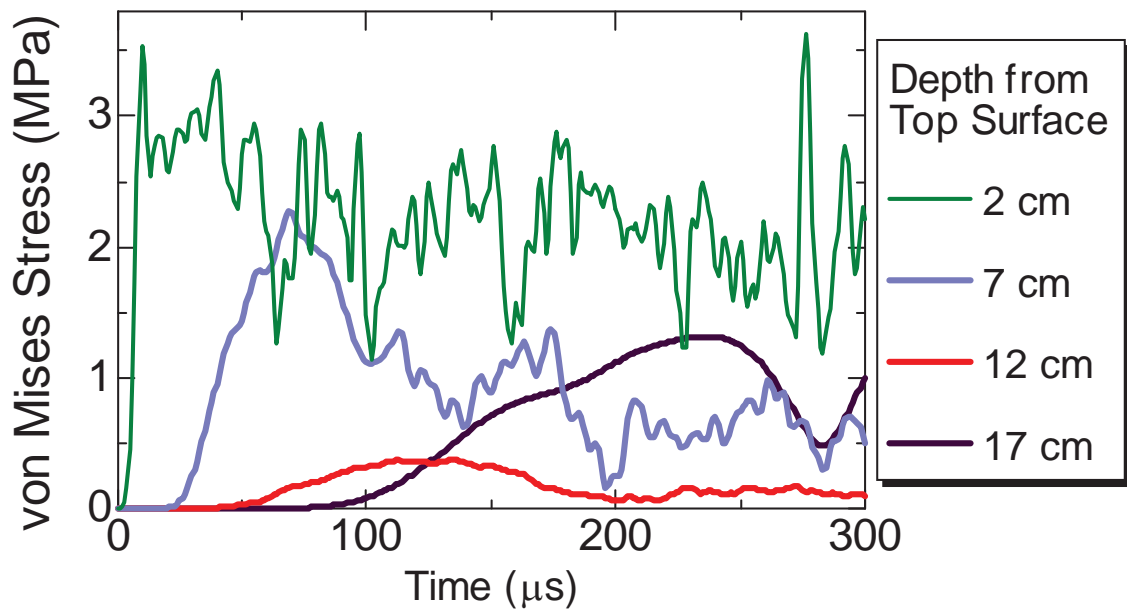
56

バラスト集合体ユニットモデルの構築



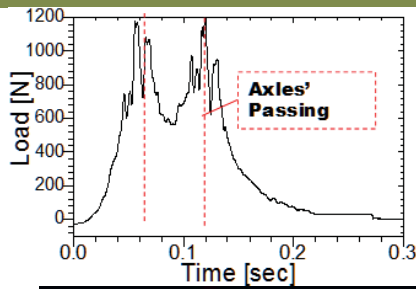
57

バラスト集合体ユニットモデルの接触点応力

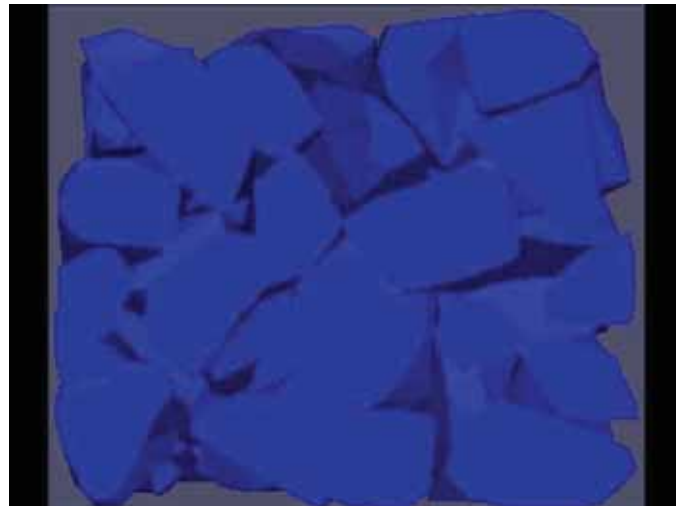
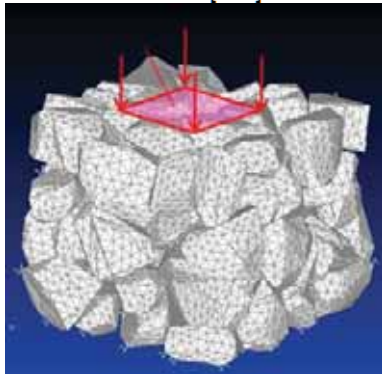


58

実測荷重波形を入力した過渡応答解析

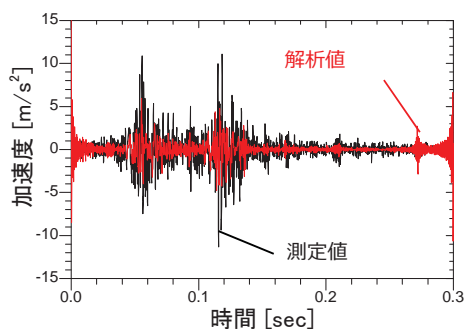
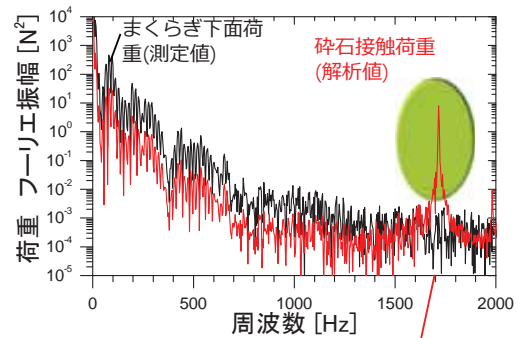
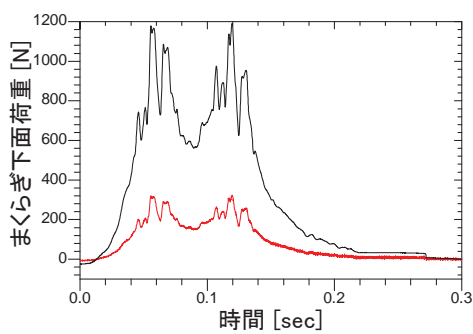


実測荷重: 125km/h
測定サイズ: 8 cm x 8 cm



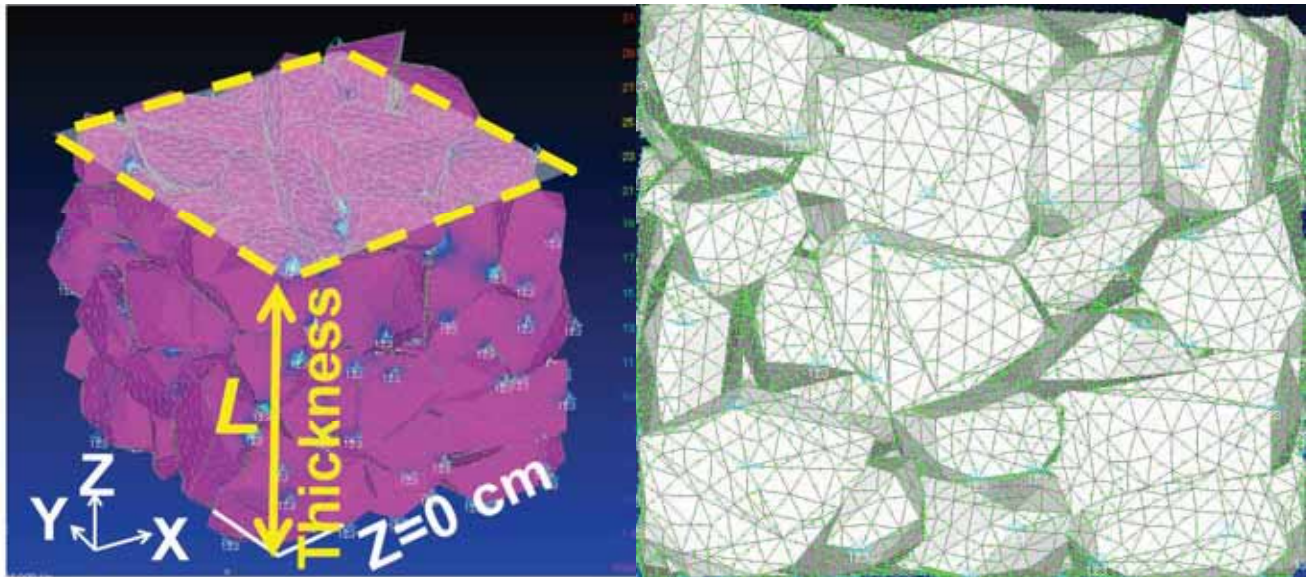
最大応力 43 MPa (入力荷重 1.2 kN, 0.19 MPa).

実測荷重波形を入力した過渡応答解析



バラスト集合体ユニットモデルの固有振動モード

バラスト集合体ユニットモデルの構築



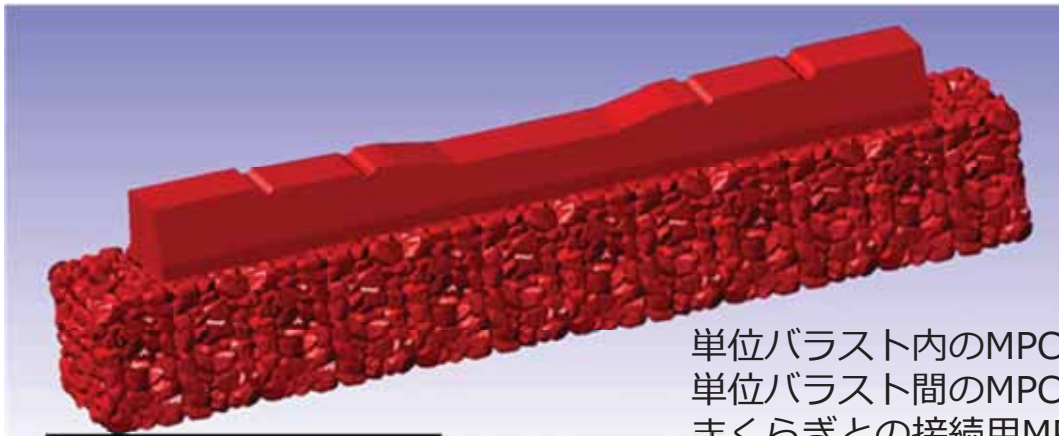
バラスト1個を約1000個の2次要素に分割する
(約50 kHzまでの固有振動数の再現性)

61

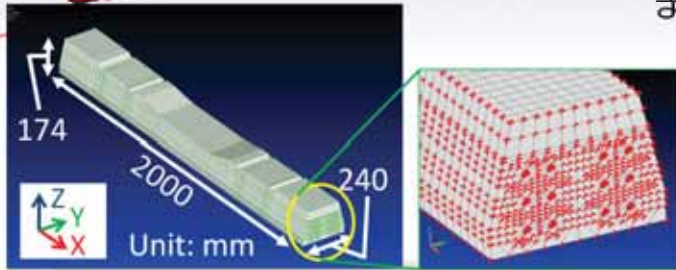
まくらぎバラスト集合体モデルの構築

62

まくらぎバラスト集合体モデルの構築

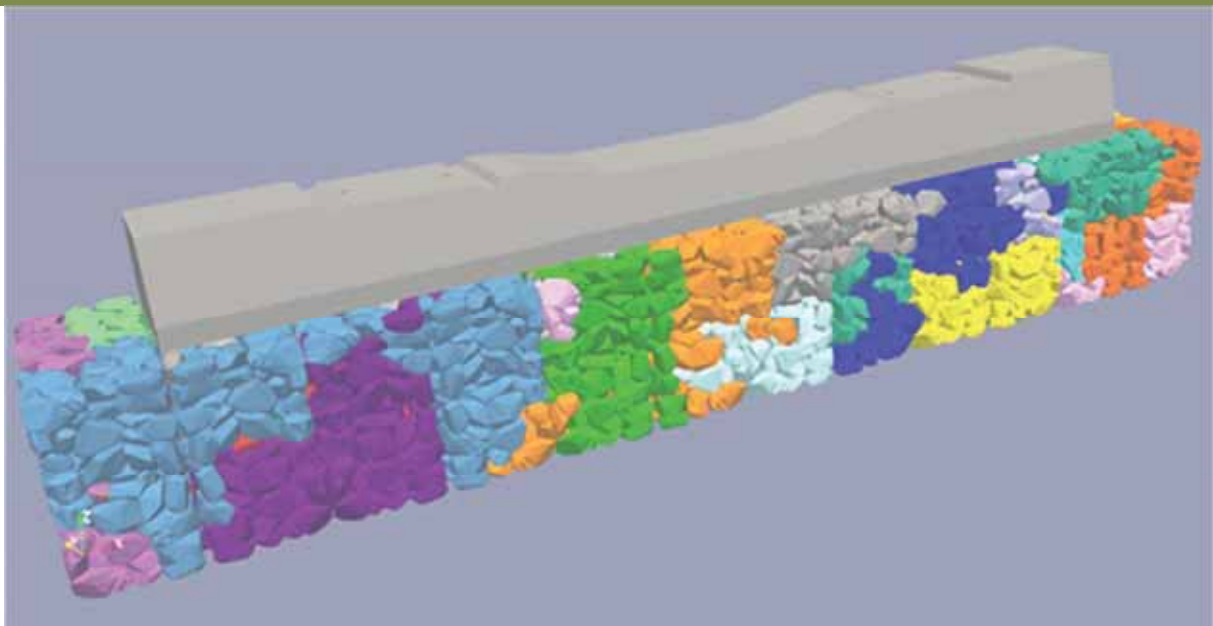


単位バラスト内のMPC 1044
単位バラスト間のMPC 1656
まくらぎとの接続用MPC 1740



63

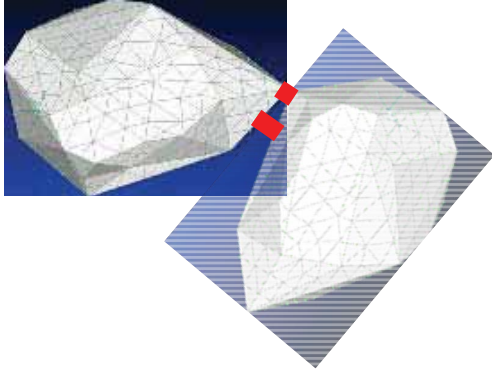
まくらぎバラスト大規模モデルの領域分割



64

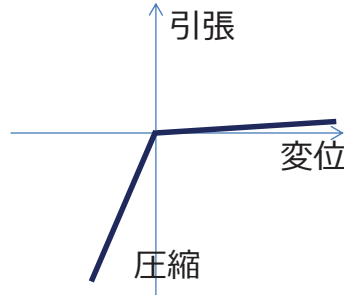
バラストとまくらぎの接触構造のモデル化

(1) 共有節点(MPCs)



まくらぎ下面の接触構造がしっかり維持される。粘着力が付加された状態や拘束圧が作用している状態に近い (理想的なバラスト構造)

(2) 非引張りばね

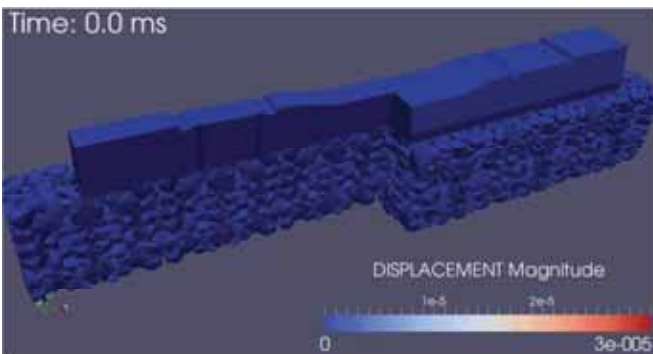


| Spring stiffness (GN/m) | Compression | Tension |
|-------------------------|-------------|---------|
| Ballast - Ballast | 30 | 0.0003 |
| Sleeper - Ballast | 10 | 0.0001 |

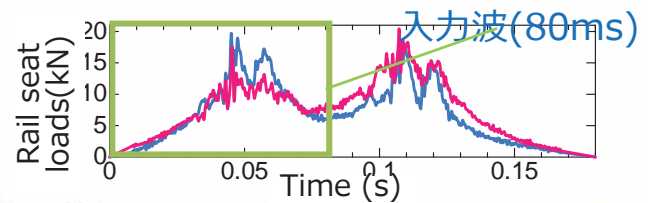
圧縮力のみ伝わる。引張応力は作用しない。(実際の軌道構造に近い)

65

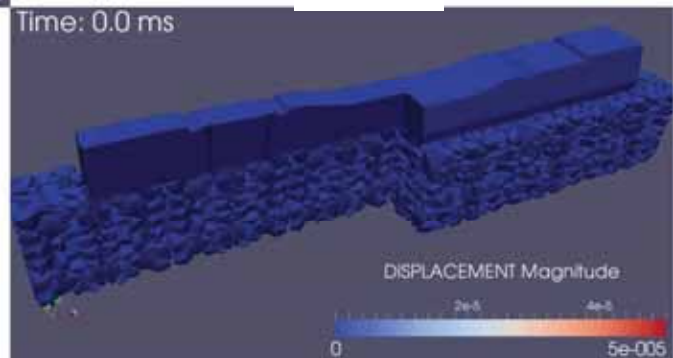
実測荷重に対する応答解析



まくらぎ下面がバラスト層と一体化している場合 (共有節点) (理想的なバラスト構造)

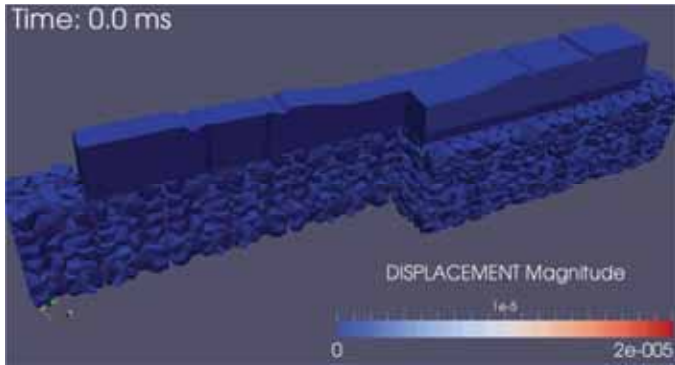


まくらぎ下面に圧縮力が作用するが、引張力が作用しない場合。非引張ばね (実際の構造に近い)



66

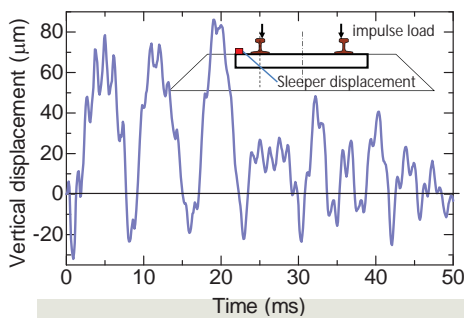
インパルス加振(100kN) 非引張ばねモデル



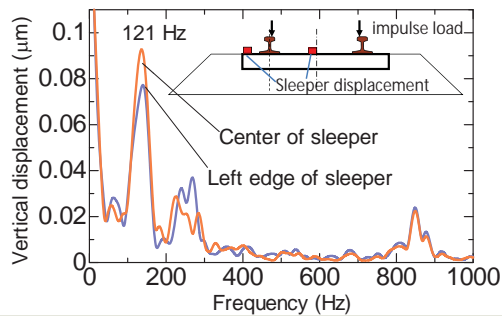
剛体振動が120 Hzにおいて発生した。非引張モデル
実測値 約100Hz

弾性振動が310 Hzにおいて発生した。共有節点モデル
実測値 約300Hz

時刻歴変位応答



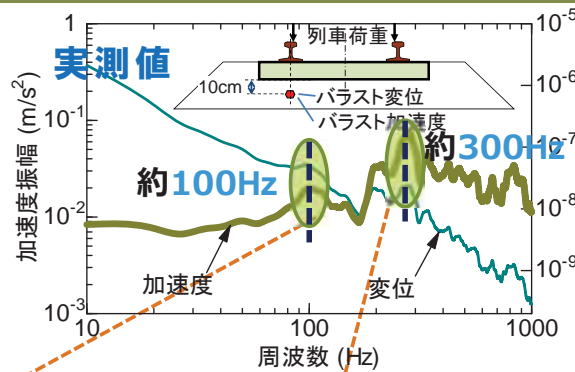
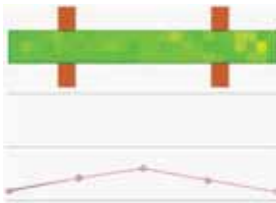
変位振幅スペクトル



バラスト・まくらぎ系の固有振動特性

剛体振動

実験値 98Hz
測定値 (a) 110Hz

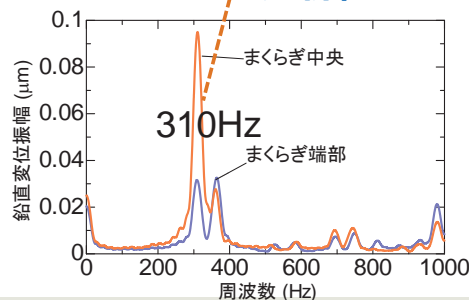
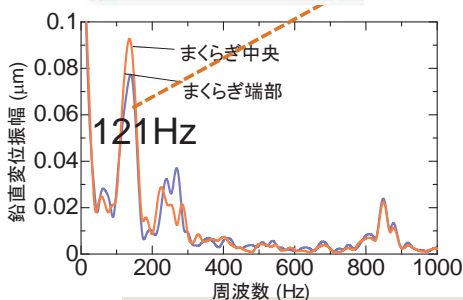


弾性振動

(b) 310Hz 測定値



FrontISTR過渡応答解析結果



まくらぎバラスト系の剛体振動モードが100Hz近傍に、弾性振動モードが300Hz近傍にある。解析値は実測値に概ね符合する。

接触力の周波数特性とバラスト層の固有振動

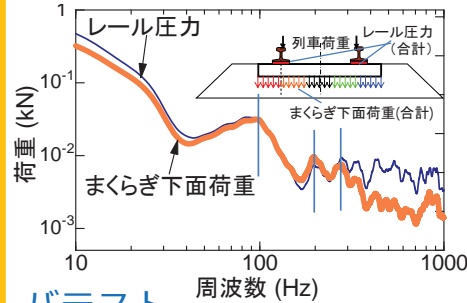
車輪レール間の走行荷重

接触力の卓越振動数

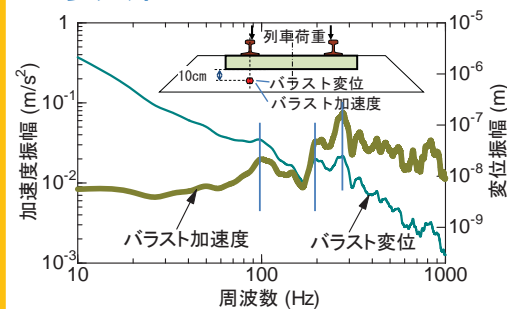
98 Hz
196 Hz
314 Hz



走行荷重

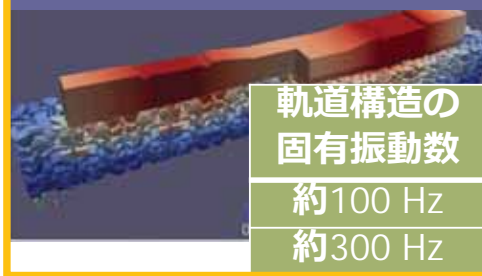


バラスト



走行荷重の卓越振動数と、バラスト軌道構造の固有振動数がほぼ一致する。共振現象のため振動が減衰しにくくなる可能性がある。

バラスト軌道の固有振動数



軌道構造の固有振動数
約100 Hz
約300 Hz

71

まとめ

- 研究目的と本解析手法の特徴
- 弾塑性動的転がり接触解析プログラムの開発
 - 脈動の原因特定（速度依存成分の特定）
 - 車輪・レール間の接触力（衝撃荷重）の卓越周波数
- バラスト・まくらぎ系の大規模過渡応答解析
 - 剛体振動モードと弾性振動モードの特定
 - 接触力の周波数特性とバラスト層の固有振動の関連性
- 解析モデルの検証と妥当性確認
 - 模型実験（実験モーダル解析）、現場測定他

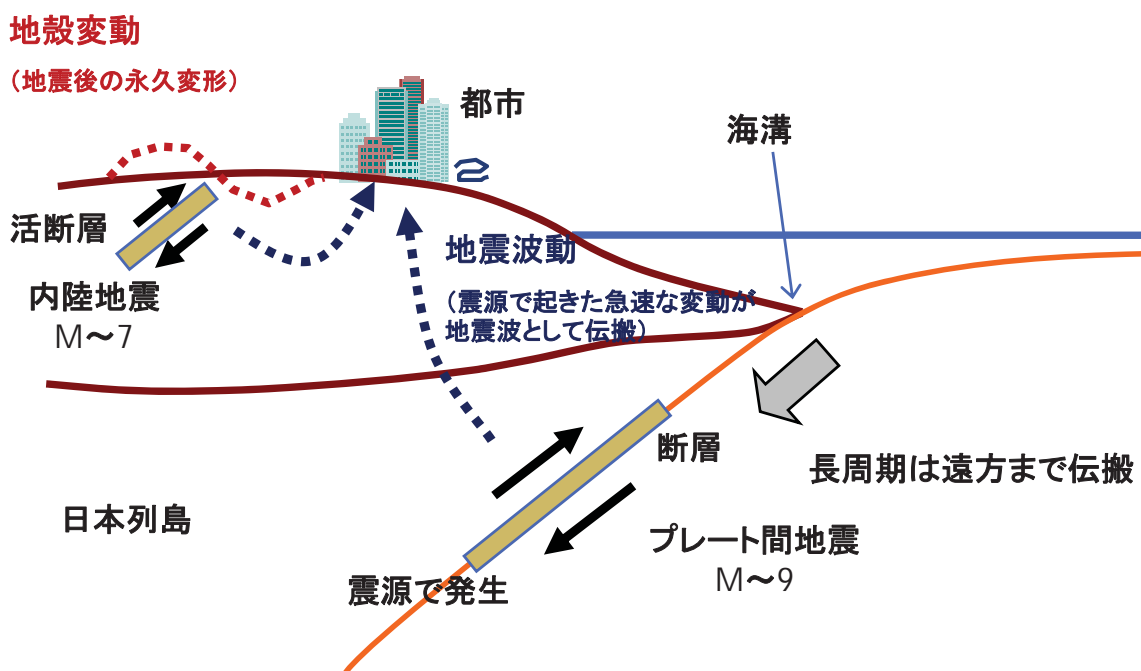
72

構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTRを用いた 地震およびマグマのシミュレーション

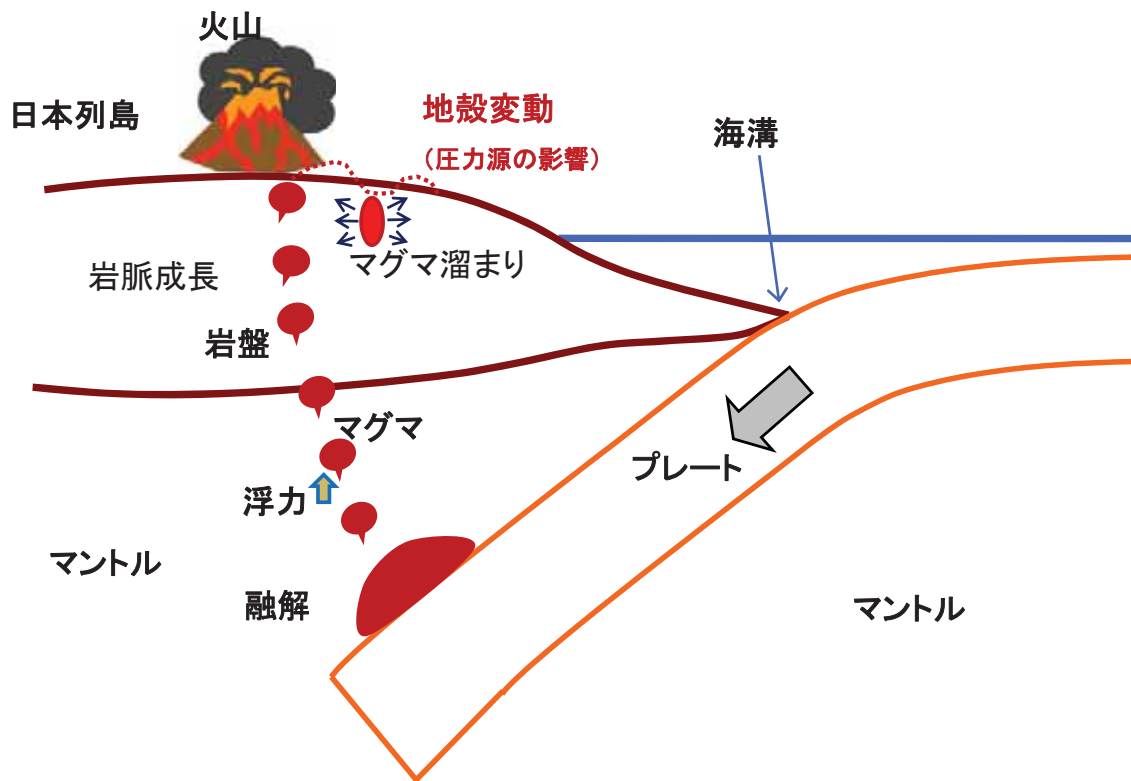
主管研究員 菊池 愛子

構造解析ソフトウェアAdvance/FrontSTR最新動向セミナー
2015年11月26日（木）開催
アドバンスソフト株式会社

シミュレーションの概要



地震の現象とシミュレーション



マグマの現象とシミュレーション

Copyright ©2015 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

| 対象 | 解析種類 | 式区分 | 基礎式 |
|-----|--------|-------------------|--|
| 地震 | 地殻変動解析 | 弾性平衡 | $\sigma_{ij,j} + b_i = 0$ |
| | 地震波動解析 | 弾性体運動方程式 | $\sigma_{ij,j} + b_i - \rho \ddot{u}_i = 0$ |
| マグマ | 地殻変動解析 | 弾性平衡 | $\sigma_{ij,j} + b_i = 0$ |
| | 岩脈成長解析 | 弾性平衡 破壊力学パラメータ | $\sigma_{ij,j} + b_i = 0$ $J = \int_{\Gamma_\varepsilon} (Wn_i q_i - \sigma_{ij} n_j u_{i,k} q_k) ds$ |

空間座標;有限要素法

モデル表現にすぐれ複雑な地中構造、任意の向きを持つ断層や力源に柔軟に対応できる。

地震やマグマのシミュレーション一覧(アドバンスソフト)

Copyright ©2015 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

Advance/FrontSTR/GEOS

地震やマグマの現象を解くための専用プログラムシステム

| 主な特徴 | 実現手段 |
|----------------|---|
| 広域地盤への適用 | 並列処理 球座標系, 無限要素 |
| 断層の表現 | 断層形状定義を地盤メッシュ定義から分離 断層を三角形や四角形パッチで折れ面近似 |
| 複雑な地中構造 | 三次元地震波速度構造DB (Matsubara and Obara(2011)など) プレート境界 マグマ |
| 地形の組み込み | 数値地図 (国土地理院, JTOPO30) |
| 大規模データへの対応 | 地表・任意切断面・部分構造抽出と可視化, 結果データベース |
| 余効変動 | 粘弾性 (Maxwellモデル) |
| 断層近傍要素の応力や歪の評価 | 断層すべりをMPCCG法 |
| 機能の発展性 | 複数のプログラム群を組み合わせるシステム でカスタマイズが容易 |

シミュレーションの概要

Split Node法 (従来)

$$u_f^{(1)} = u_f + \Delta u_f^{(1)} = u_f + 0.5 \Delta u_\delta$$

$$u_f^{(2)} = u_f + \Delta u_f^{(2)} = u_f - 0.5 \Delta u_\delta$$

MPCCG法 (本方法)

$$u_{(upper)} - u_{(lower)} = u_\delta$$

$u_{(upper)}$: 断層上面節点の変位

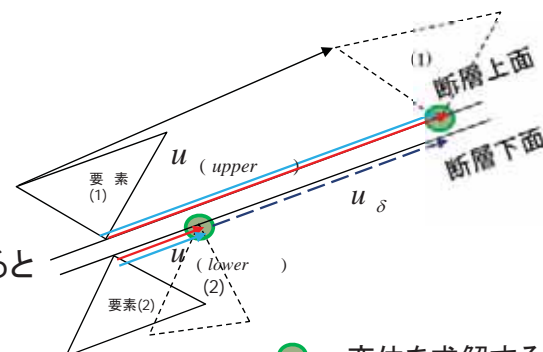
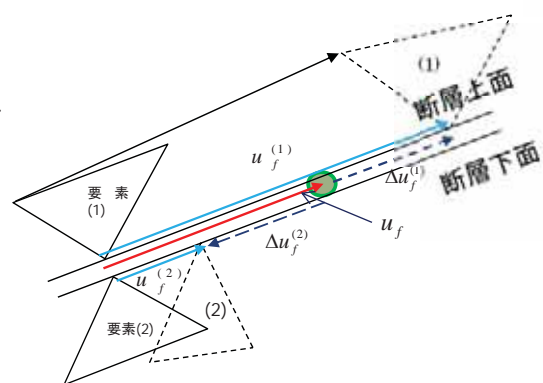
$u_{(lower)}$: 断層下面節点の変位

u_δ : すべり量

$$\{u\} = \begin{Bmatrix} u_{upper} \\ u_{lower} \\ u_{etc} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ u_{lower} \\ u_{etc} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} u_\delta \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

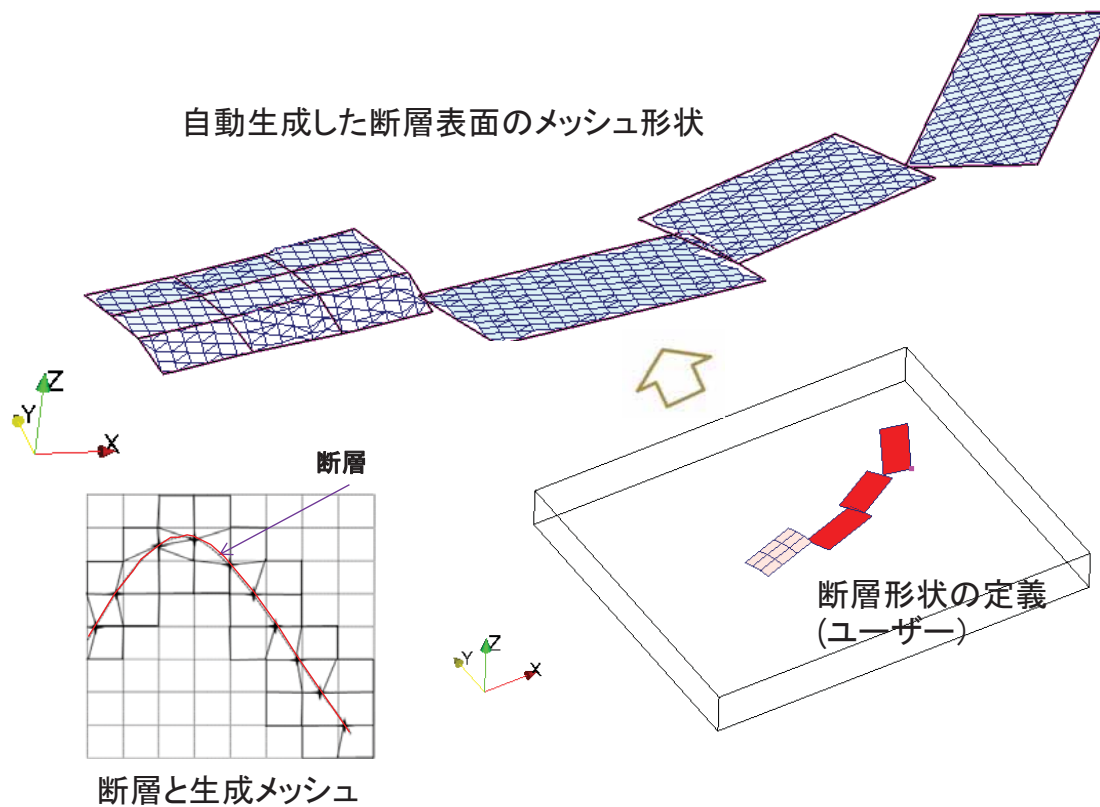
求解方程式は上式の変換行列をTとすると

$$[T]^T [K] [T] \{u_{master}\} = [T]^T \{f\} - [K] \{\bar{u}\}$$



● : 変位を求解する節点

断層すべりの処理



Advance/FrontSTR/GEOS システム仕様

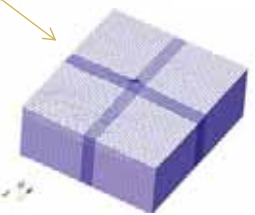
| | 機能 | 仕様 |
|---|----------|--|
| ① | 基本機能 | 有限要素法により地震およびマグマのシミュレーション 静応力解析/線形動解析 |
| ② | システム環境 | Windows/Linux |
| ③ | 地表面 | ・地形を考慮する。 |
| ④ | 材料特性 | ・弾性および粘弾性 (Maxwellモデル) |
| ⑤ | 地盤モデル化機能 | ・メッシュを自動で生成 ・4面体、5面体 (プリズム)、6面体1次要素 ・Matsubara and Obara(2011)に従う速度構造など ・断層・圧力源の位置・形状を任意に設定できる ・無限要素を自動生成できる |
| ⑥ | 計算機能 | ・大規模計算に対応できる並列計算機能 ・断層、圧力源周辺における変位・応力分布を表現できる MPCCG法 |
| ⑧ | 断層の形状 | ・断層定義を地盤メッシュと独立に定義できる ・多角形で表現される形状の頂点の位置を入力。頂点を用いた3角形&4角形の組み合わせを定義する |
| ⑨ | 圧力源の形状 | ・球体、楕円体、板状岩脈 |

全体地盤モデル
(日本列島)

東経128° ~149° (1826km)
北緯28° ~46° (2000km)
深さ400km

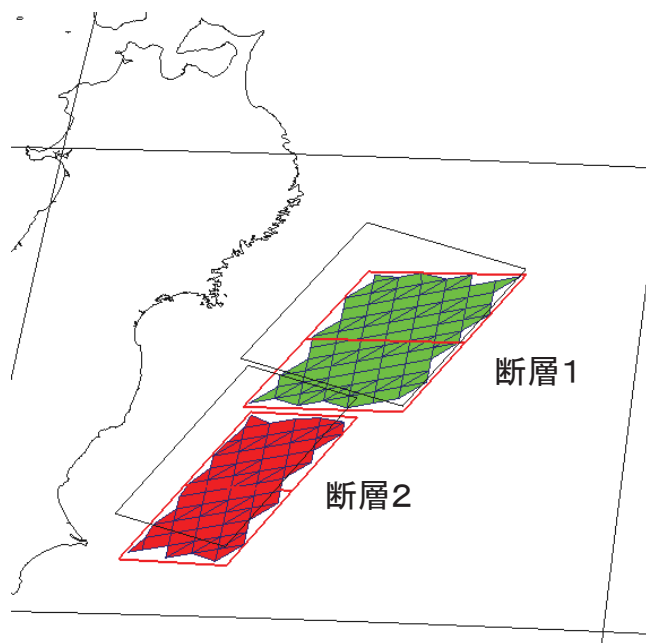
節点数: 569891
要素数: 542163
要素サイズ: 18km × 17km × 13km
計算時間: 3時間32分(10step, WinPC)

| | | | | | | | | | |
|-------|----|------|-----|------|-----|-----|-----|----|--|
| #HEXA | 10 | 100 | 120 | 30 | | | | | |
| + | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | |
| + | Z | 20.0 | *10 | 15.0 | *10 | 5.0 | *10 | | |



富士山周辺

地殻変動解析例 東北地方太平洋沖地震と富士山への影響



| 項目 | 断層1 | 断層2 |
|---------|--------|--------|
| 緯度 | 38.80 | 37.33 |
| 経度 | 144.00 | 142.80 |
| 上端深(km) | 5.1 | 17.0 |
| 長さ(km) | 186 | 194 |
| 幅(km) | 129 | 88 |
| 走行角(度) | 203 | 203 |
| 傾斜角(度) | 16 | 15 |
| すべり角(度) | 101 | 83 |
| すべり量(m) | 24.7 | 6.1 |
| マグニチュード | 8.8 | 8.3 |

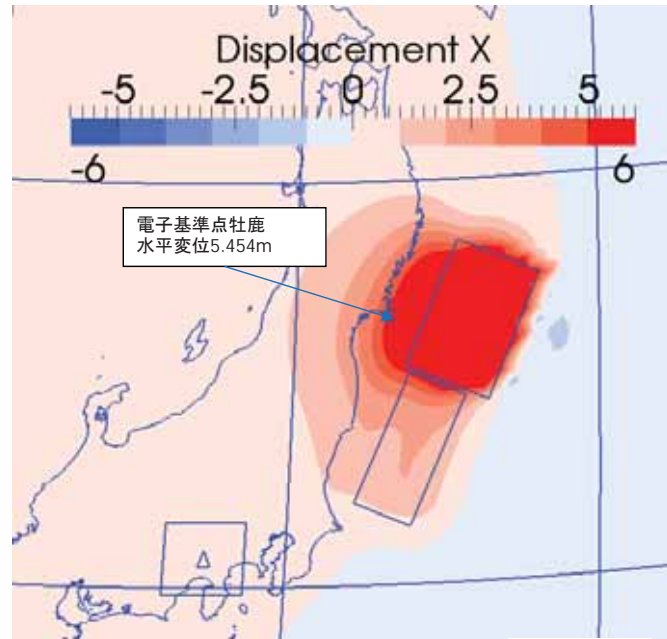
出典: <http://www.gsi.go.jp/cais/topic110422-index.html>

震源モデル

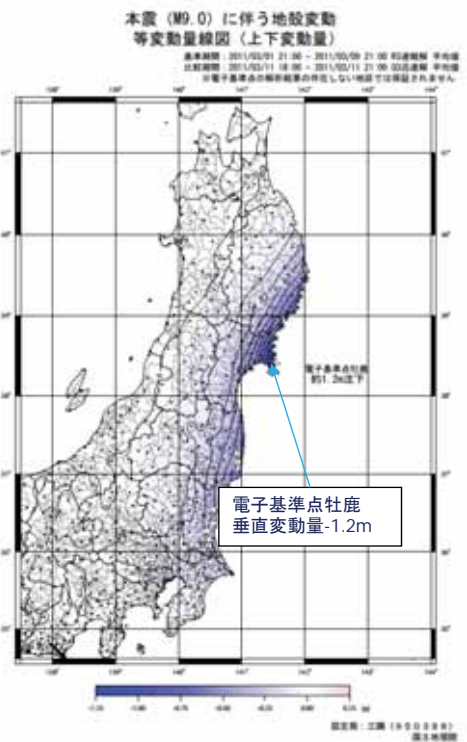


出典: <http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi40005.html>

地表における水平変位 (解析結果)

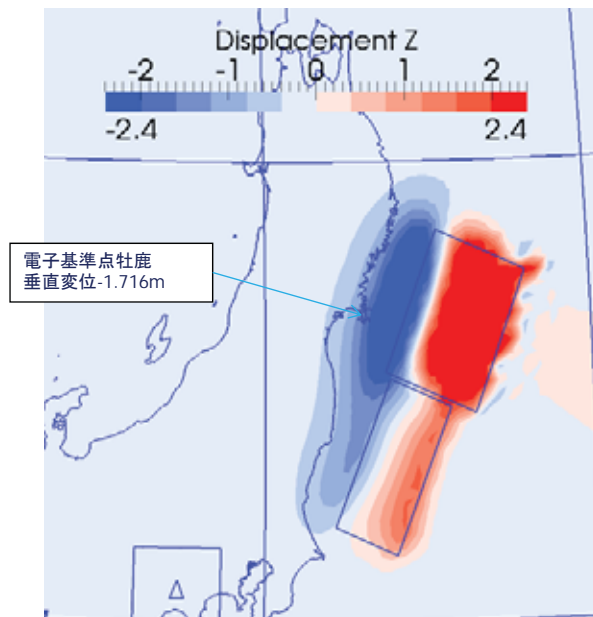


0年解析結果 (水平変位)

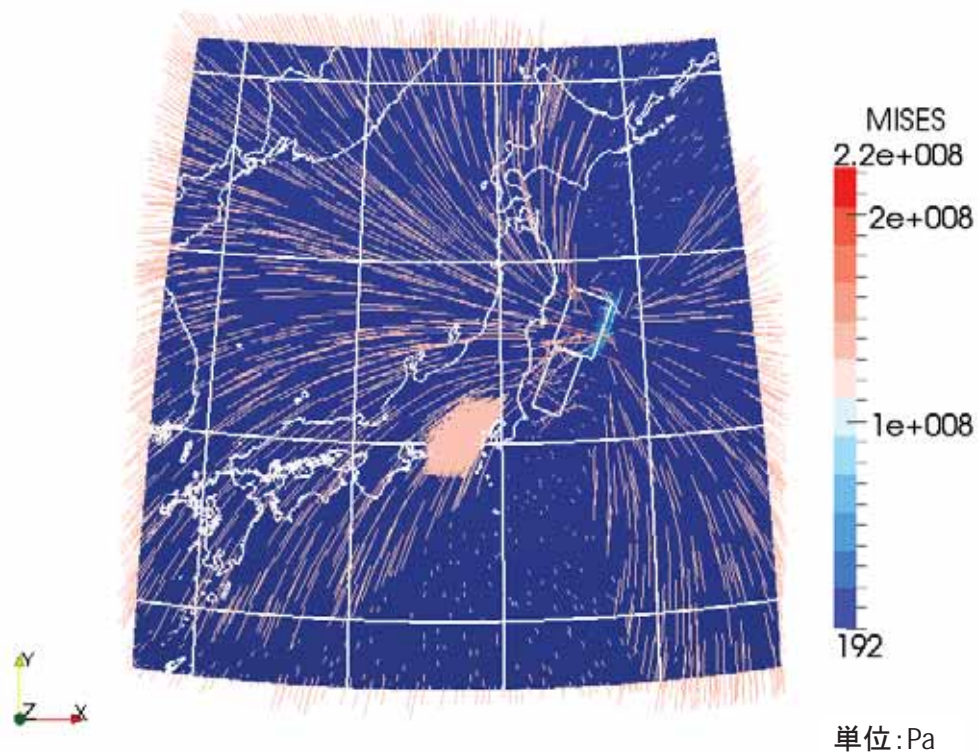


出典: <http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi40005.html>

地表における鉛直変位 (解析結果)



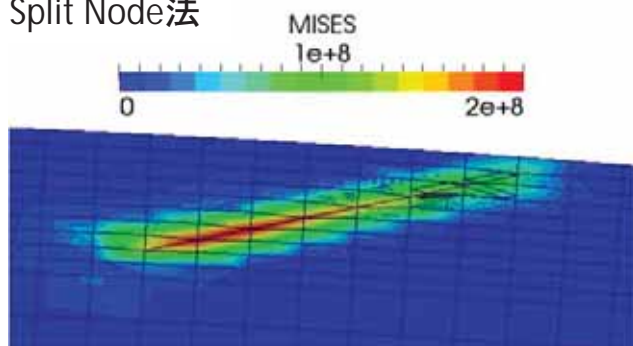
0年解析結果 (鉛直変位)



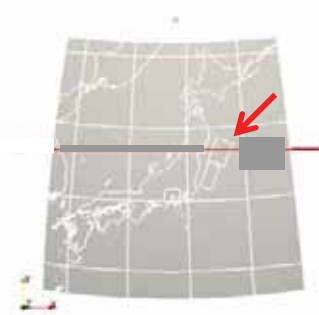
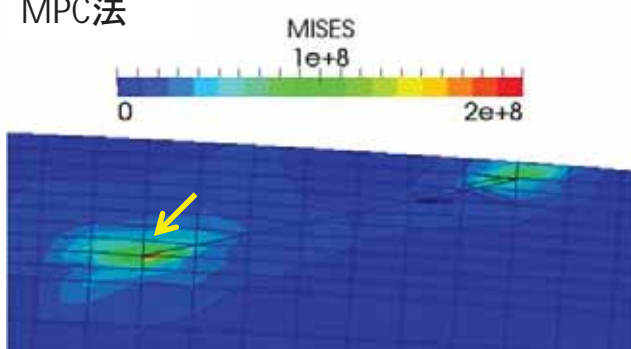
0年解析結果(最大主応力線)

Copyright ©2015 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

Split Node法



MPC法



鉛直断面切断位置

地中応力の分布(断層近傍)

Copyright ©2015 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

| マグマ特性 | 内容 |
|--------|-----------------------|
| Vs | 0m/sec |
| Vp | 2500m/sec |
| 密度 | 2500kg/m ³ |
| 位置 | 富士山直下10km |
| 形状・サイズ | 半径3km球体 |

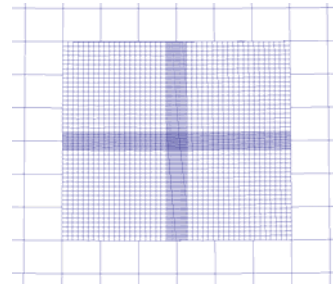
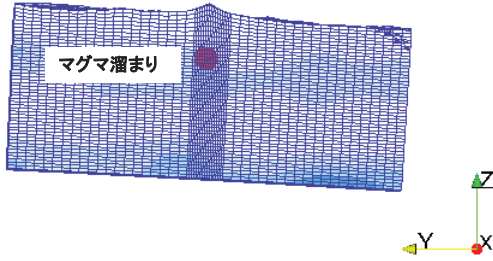
多段解析(ズームング解析)

全体の粗メッシュ解析終了後、境界変位を抽出して富士山の細分メッシュ解析を実行。
メッシュ作成は容易だが、境界条件抽出が面倒。



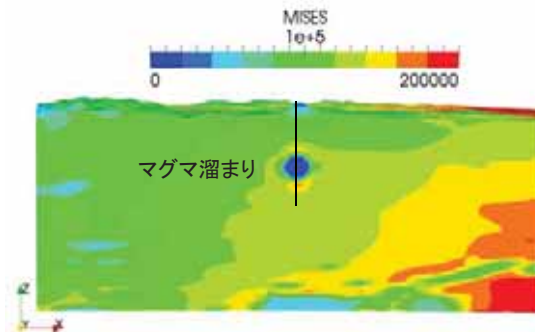
一段解析

全体の粗メッシュ部分と富士山の細分メッシュ部分の一体解析。
メッシュの粗密の違いは、GLUE機能でMPC条件を自動生成して解決。境界条件の抽出が不要。

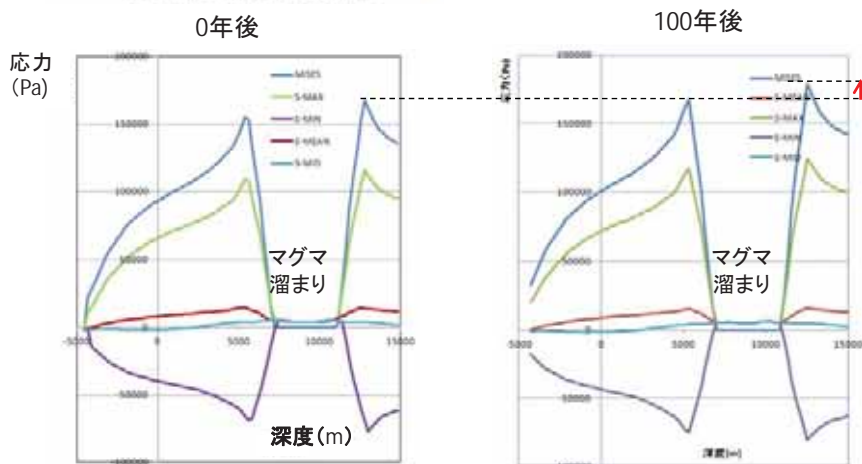


MPC条件による細分側節点の変位補間

富士山詳細部のモデル

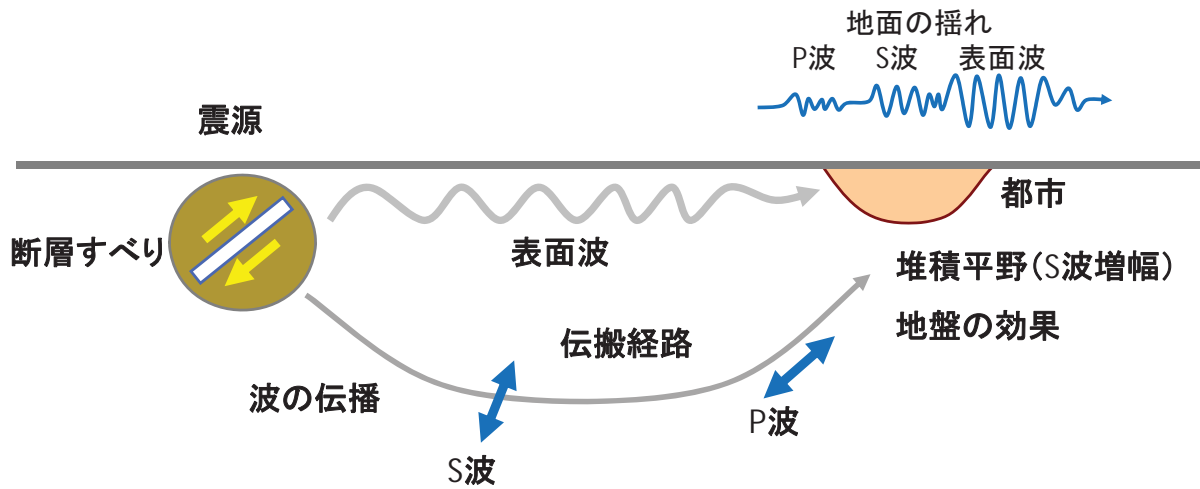


解析事例提供:
防災科学技術研究所
地震・火山防災研究ユニット殿



富士山直下マグマ周辺の応力変化

- 断層に沿う急激なすべりにより周囲に地震波を放射する現象を解析
- 複雑な地中速度構造の影響も考慮できる
- 地表/地中に発生する変位、速度、加速度、応力、ひずみの波形を求める



大規模モデル(震源～着目地域)
→計算時間膨大→大規模高速解析

地震波の伝播と地盤の揺れ

慣性力 粘性力 弾性力 震源から等価節点力

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = f(t)$$

ここに、節点変位ベクトル

$$u = \{u_{ik}\}$$

節点外力ベクトル

$$f = \{f_{ik}\}$$

集中質量行列

$$M = \{M_{kk}\}$$

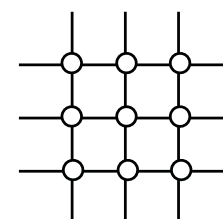
剛性行列

$$K = \int B^T DB \, dV$$

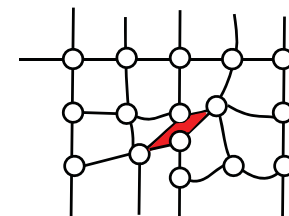
減衰行列

$$C$$

- 空間座標;有限要素法
- 時間方向;中心差分
- 震源;断層上面・下面すべり運動
- 領域境界での反射波低減; 自動Rayleigh減衰



差分法



有限要素法

地震波動解析の計算法

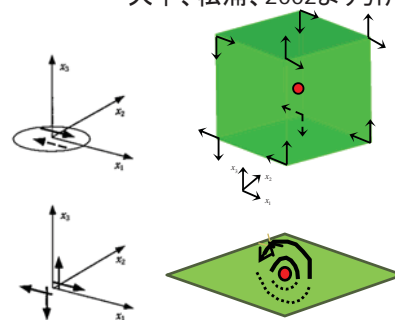
点震源

断層面での変位のくい違い運動を近似したモーメントテンソル。震源から観測点までの距離が十分大きいときによく近似できる。「地震発生の物理学」

大中、松浦、2002より引用

$$M_{pq}(t) = \mu \Delta \bar{u}(t) S (n_p v_q + n_q v_p)$$

- $M_{pq}(t)$: モーメントテンソル
- $\Delta \bar{u}(t)$: 断層面の平均的な変位の食い違い量
- S : 断層面積
- n_p, n_q : 断層面の法線方向ベクトル
- v_q, v_p : 変位の食い違い方向ベクトル



ダブルカップルモーメント

MPC断層すべり(本手法)

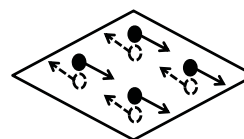
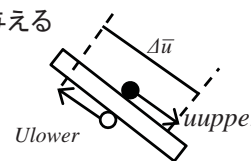
断層面により近い場合も考慮し、断層面での変位のくい違い運動を忠実にモデル化

- 断層を構成する上層と下層の節点に対し、絶対値が等しく符号が異なる変位を与える

$$u_{upper}(x, y, t) = 0.5 \times \Delta \bar{u}(x, y) \times amp(t) \Big|_{x,y}$$

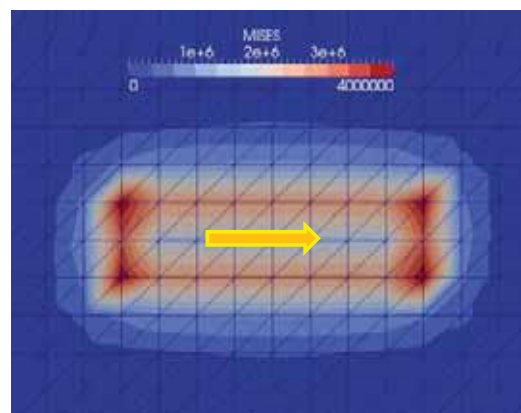
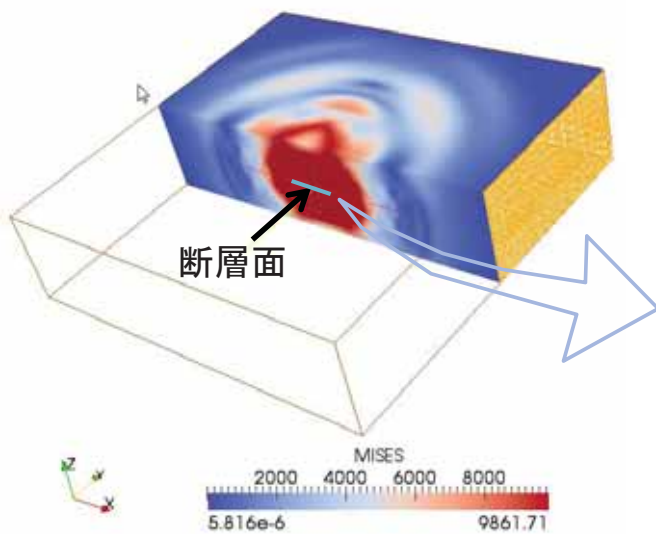
$$u_{lower}(x, y, t) = -0.5 \times \Delta \bar{u}(x, y) \times amp(t) \Big|_{x,y}$$

- u_{upper} u_{lower} : 断層上下層の節点変位
- $\Delta \bar{u}$: 食い違い変位量
- $amp(t) \Big|_{x,y}$: 断層面内の位置x,yにおける時間関数



断層すべりの処理法

断層面の移動を直接モデル化するため、断層面上の応力も解析できる。断層面では端部に高い応力集中が発生する。

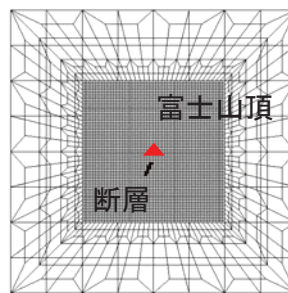
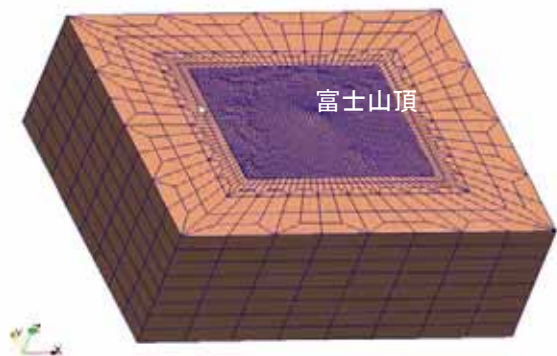


断層面ミーゼス応力(20S)

断層面上の応力

| 区分 | 項目 | 仕様 |
|-------|------------|--|
| 地盤モデル | モデル規模 | 100km×100km×45km 最小メッシュサイズ 1km 152,858節点 145,559要素 |
| | 速度構造 | 三次元地震波速度構造 |
| 減衰 | Rayleigh減衰 | なし |
| | 粘性ダンパー | 底面および側面 |
| 震源モデル | タイプ | ランプ型 |
| | ライズタイム | 2秒 |
| 計算条件 | | $\Delta t = 0.02$ 秒 |

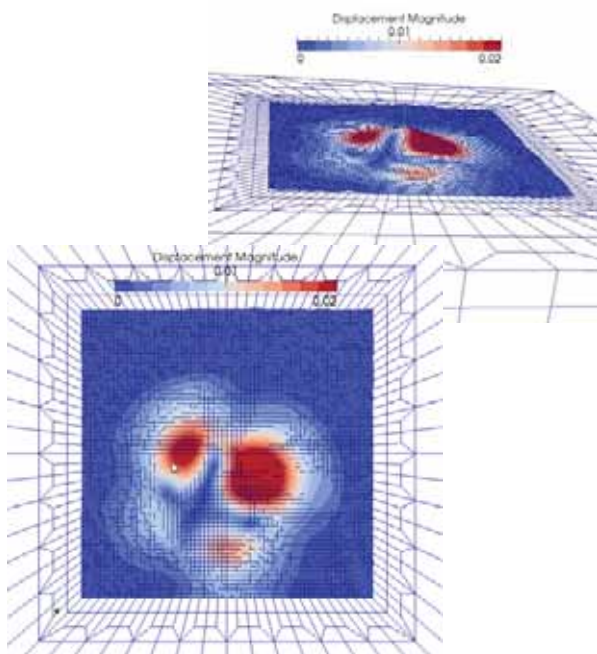
断層長さ6.9km幅5.1km
 走行31° 傾斜角72°
 すべり角22°
 すべり量0.73m
 上端深さ3.8km



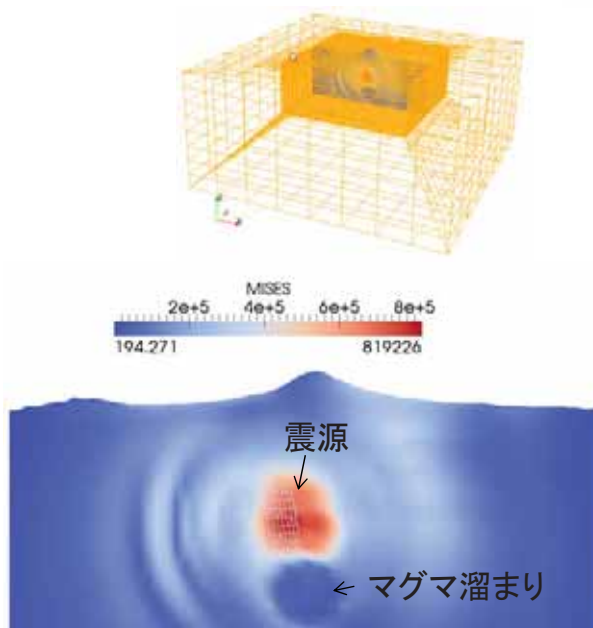
東西100km南北100km深さ45km

2011年3月15日静岡県東部の地震

実地震解析例 (地盤メッシュモデルと震源断層)

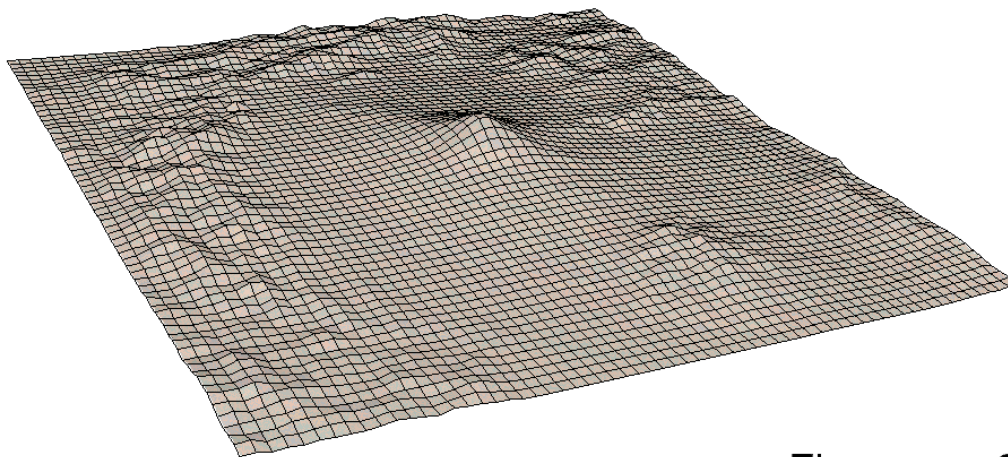


地表面の変位 (四象限型)



等価応力(中央緯線方向断面)

地震による変位・応力の応答(地震発生後4S)



Time: 0



Velocity Z-direction

地震波の伝搬(地表面の鉛直速度)

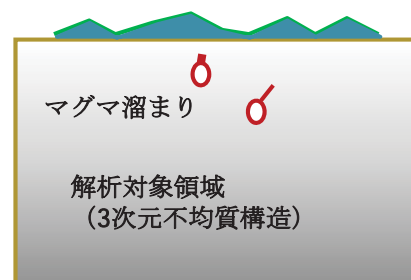
岩脈成長シミュレーション

概要

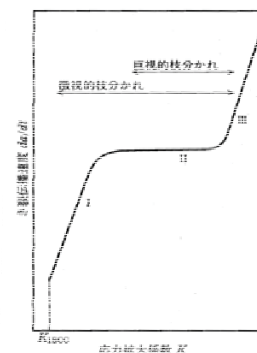
マントルで生まれたマグマは浮力を受けて上昇する。急速な上昇の前の準備段階である、マグマが岩盤のクラックの先端を腐食しながらゆっくりと拡大する過程(応力腐食)を解析する。

開発項目

- ①重合メッシュ法による解析機能の開発
き裂近傍のメッシュと全体メッシュを別々に作成することが可能となる。
- ②破壊力学パラメータ算出機能の開発
き裂前縁の各点において任意の仮想き裂進展方向におけるJ積分を行う機能を開発する。
- ③自動解析、自動メッシュ機能の開発
き裂進展に従ったき裂近傍のメッシュを自動作成し、全体メッシュとの統合を行うとともに、き裂進展解析を自動的にを行う機能を開発する。



解析対象



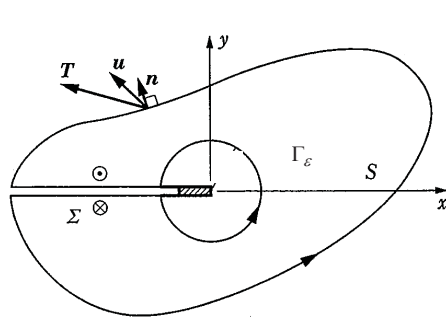
き裂進展速度と応力拡大係数K

岩脈成長シミュレーションシステムの開発

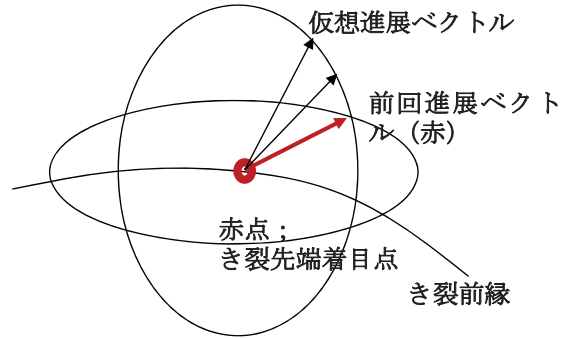
$$J = \int_{\Gamma_\epsilon} (Wn_i q_i - \sigma_{ij} n_j u_{i,k} q_k) ds$$

ただし

- Γ_ϵ ; き裂先端を含む任意の平面上に取った微小な積分経路
- W ; ひずみエネルギー密度
- n ; 平面に含まれ経路上でき裂先端から遠ざかる方向に向かう単位法線ベクトル
- σ_{ij} ; 応力テンソル
- u ; 変位
- q_i ; き裂進展方向を表す単位長さのベクトル



RiceのJ積分



仮想進展ベクトルの設定

破壊力学パラメータの計算(応力拡大係数、進展方向)

- ①変位はグローバルなメッシュの変位とローカルなメッシュの変位を重ね合わせる。
- ②グローバルとローカルの境界および形状は必ずしも一致しない。
- ③ローカル形状の境界でローカル変位は消滅する。

$$u = u^G + u^L$$

$$u^L = 0 \quad \text{on} \quad \Gamma^{GL}$$

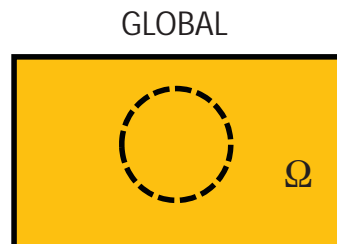
それぞれの領域で変位を補間する。

$$u^G = N^G \bar{u}^G$$

$$u^L = N^L \bar{u}^L$$

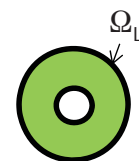
ただし

- u ; 変位
- N ; 形状関数



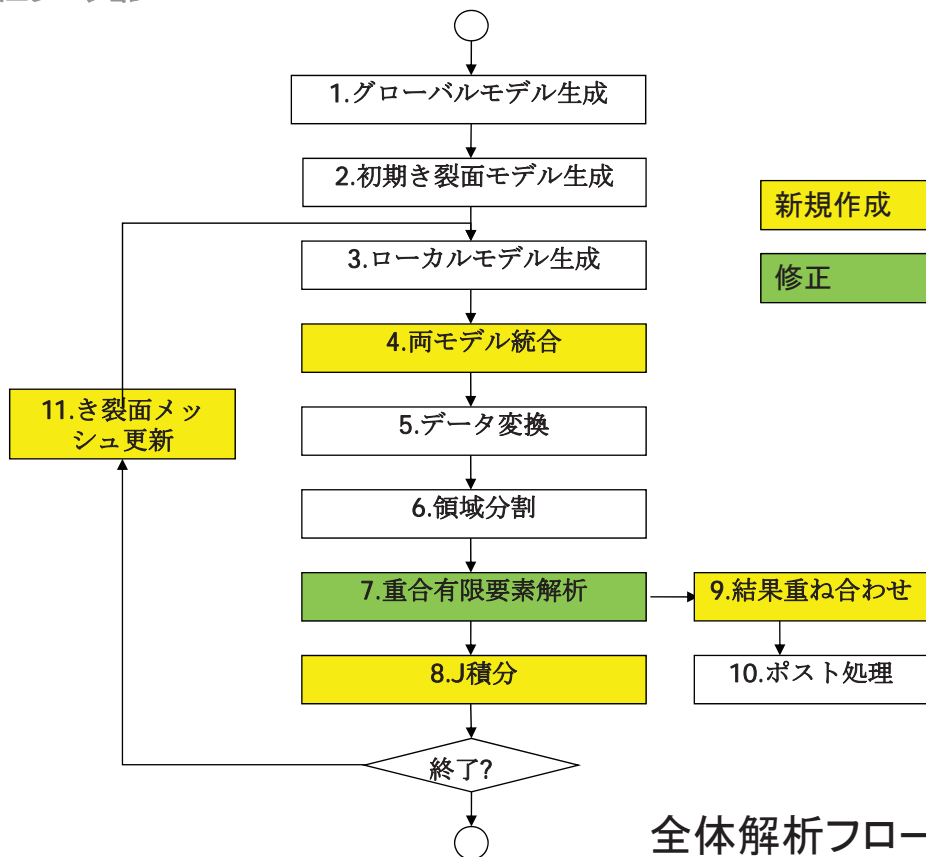
GLOBAL

LOCAL

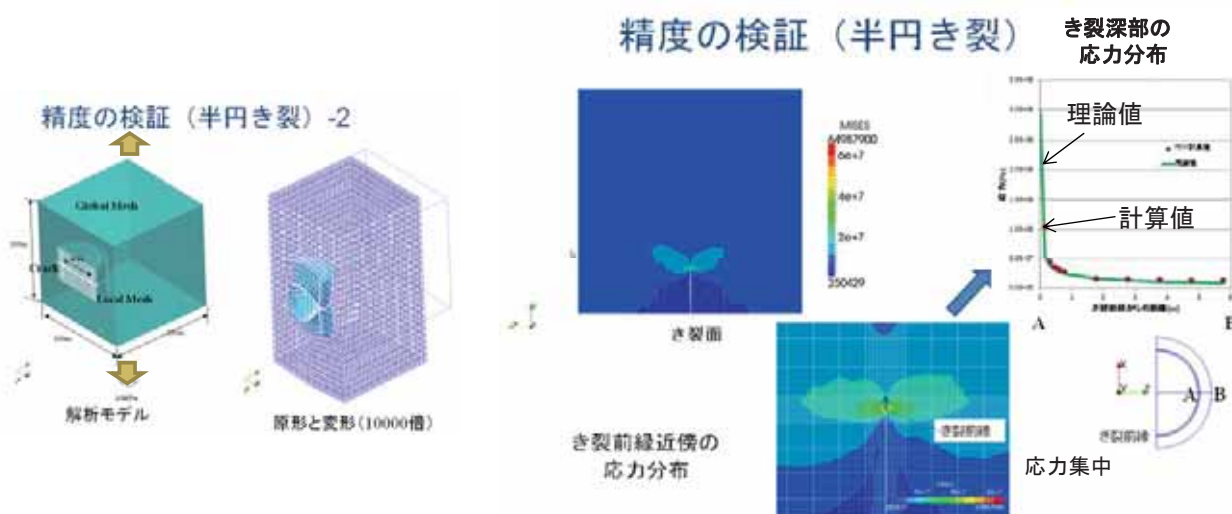


Ω_L ; ローカル形状の境界

重合メッシュ法の計算式

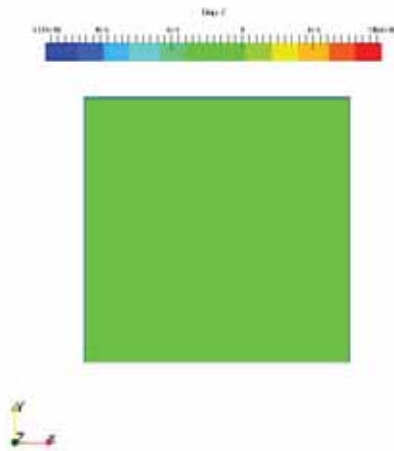


全体解析フロー



重合メッシュ法によるき裂解析の精度の検証

- ・ モデルサイズ: 500m(X) × 500m(Y) × 500m(Z)
- ・ き裂の半径: 50m
- ・ 節点数: 17,576, ヘキサ要素数: 15,625.
- ・ メッシュサイズ: 20m × 20m × 20m
- ・ 地盤材質: ヤング率80GPa, ポアソン比0.3, 密度2500kg/m³
- ・ マグマ密度: 2300kg/m³
- ・ 境界条件: 底面のZ方向変位を拘束. また剛体変形を防止



地表面の鉛直方向変位分布



岩盤き裂の成長
(下方; マグマ側、上方; 地表)

岩脈成長に伴う地表面変形の推移

まとめ

- 震源やマグマの現象にはシミュレーションできる範囲が広い。有限要素法による構造解析プログラムを用いて震源やマグマを解析できるシステムAdvance/FrontSTR/GEOSを開発した。
- 断層すべりや圧力源に伴う地殻変動解析を実施したところ十分な精度が得られ、有効であることを検証した。
- 断層の処理にMPC法を採用して断層付近の応力を評価できる。MPCCG法を用いることにより大規模モデルの解析もできるようになった。
- 専用のプリポストプロセッサの具備により複雑で大規模な地盤の解析を効率的に計算することが可能である。
- 上記システムは複数のプログラム群で構成されるため、カスタマイズもしやすく、今後も現象解析の範囲を拡張していく予定である。

構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTRの概要と 新機能

主任研究員 袁 熙

構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTR 最新動向セミナー
2015年11月26日 (木)
アドバンスソフト株式会社

Advance/FrontSTRの開発経緯

2005-2007:文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発:
革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発
(<http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/project/rss/software.html>)

| | | | |
|---|---|------------------------------|--|
| ハイエンド計算モデル ウェア援用構造解析 システムによる汎用 連成シミュレーション | <div style="border: 1px solid red; padding: 2px;">FrontSTR HEC-MW</div> | FrontSTR hecmw-PC-Cluster | <ul style="list-style-type: none"> FEM解析、ソルバ、可視化等の並列解析用ライブラリ群 |
|---|---|------------------------------|--|



- ・ 大規模超並列を着目した有限要素法ソフト
- ・ 静的解析・動的解析・固有値解析・熱伝導解析
- ・ 線形弾性解析のみ(熱伝導解析は温度依存性を考慮)

2009-2012:文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発:
イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発
(<http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/riss/project/>)



- ・ 非線形(材質非線形、幾何非線形、接触非線形)
- ・ 周波数応答解析
- ・ アセンブリ機能、リファイナー機能(REVOCAPを使用)

Advance/FrontSTRの開発経緯

FrontISTRの強み: 超並列解析

(http://www.multi.k.u-tokyo.ac.jp/FrontISTR/files/FrontISTR_leaflet.pdf)

表1 「京」における大規模ハイブリッド並列解析

| Refine 回数 | ノード数 | コア数 | 並列方式 | 計算時間 | Work ratio | 対ピーク性能 |
|-----------|-------|--------|---------|--------|------------|--------|
| 0 | 128 | 1,024 | FlatMPI | 3.8 h | 74.7 % | 4.7 % |
| | | | Hybrid | 4.5 h | 57.6 % | 3.3 % |
| 1 | 1,024 | 8,192 | FlatMPI | 5.7 h | 88.0 % | 5.0 % |
| | | | Hybrid | 8.6 h | 60.3 % | 3.3 % |
| 2 | 8,192 | 65,536 | FlatMPI | 13.7 h | 82.6 % | 4.2 % |
| | | | Hybrid | 21.7 h | 50.3 % | - |

(節点数2,513,793,437、線弾性解析)

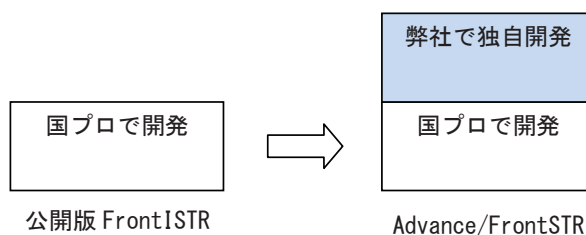
FrontISTRの弱点: 線形弾性解析を考慮した基本設計

- ・ 静的通信管理: 接触など通信パターン変化問題に向かない
- ・ 静的なデータ構造: Adaptive mesh, 亀裂、接触問題などに向かない
- ・ BCRSマトリクス構造: 1,2,3,4,6自由度のみ対応、自由度混在処理困難

Advance/FrontSTRの開発経緯

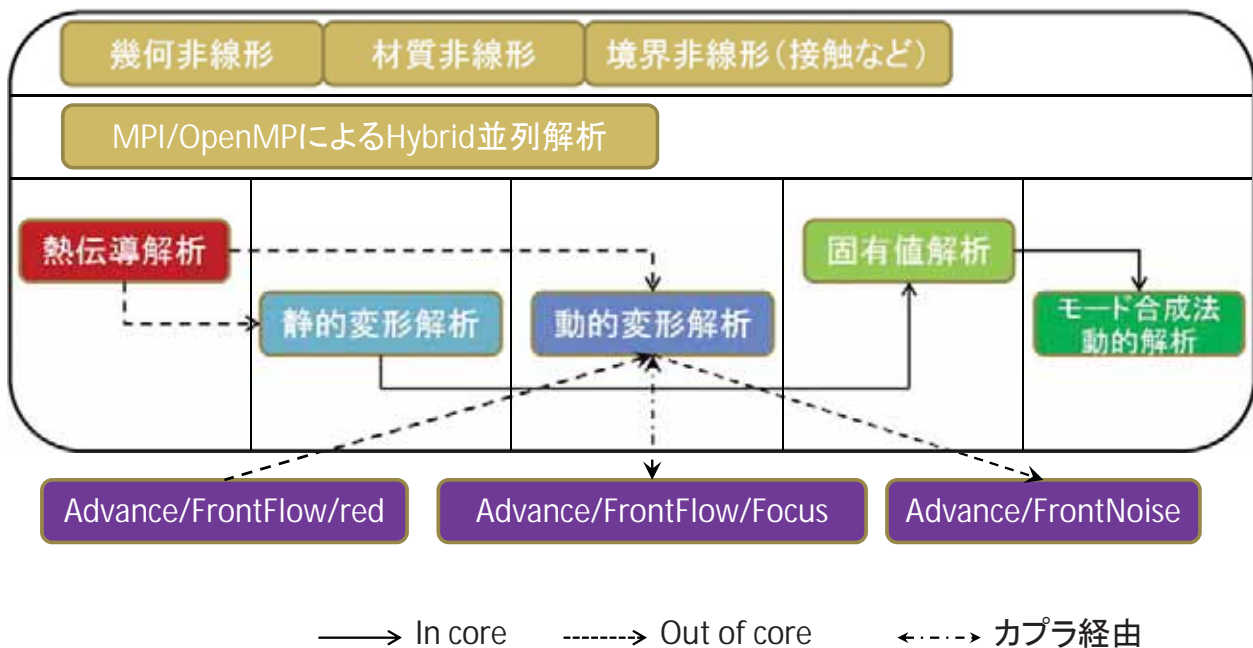
FrontISTRの強み: 日本製

- ・ FrontISTR研究会(<http://www.multi.k.u-tokyo.ac.jp/FrontISTR/>)
- ・ 「京」や「地球シミュレーター」など対応



Advance/FrontISTRはその長所と短所とも継承している

Advance/FrontSTRの概要



Advance/FrontSTRの概要

熱伝導解析

- ・ 定常/非定常
- ・ 非線形解析機能: 材質の温度依存性、境界(輻射、対流)非線形
- ・ 非線形解析方法: Newton-Raphson法
- ・ 時間積分方法: 後退Euler法
- ・ 要素タイプ: ソリッド、シェル、梁、トラス、ギャップ

Advance/FrontSTRの概要

静的変形解析

- ・ **非線形解析機能:**
 - 幾何非線形
 - 材質非線形(超弾性、弾塑性、粘弾性、粘塑性)
 - 境界非線形(接触、追従荷重)
- ・ **非線形解析方法:** Nested Newton-Raphson法
Newton-Raphson法 + Augmented Lagrange法(接触計算)
+ 他の局所Newton-Raphsonループ(シェルや梁要素の場合)
- ・ **要素タイプ:**
 - 六面体要素: CHEXA8, CHEXA8-I, CHEXA8-B, CHEXA20, CHEXA20-R
 - 四面体要素: CTETR4, CTETR10, CTETR10-C, CTETR10-R
 - プリズム要素: CPRIS6, CPRIS15, CPRIS15-R, CPRIS15-B
 - ピラミッド要素: CPYRA5, CPYRA13, CPYRA13-R, CPYRA13-B
 - シェル要素: SQUAD4-MITC, SQUAD8-MITC, STRIA3-MITC, STRIA6-MITC
 - 梁要素: B2, B3, B4, B2-BE, B2-T, B3-T
 - トラス要素: T2, T3, T4
 - その他: MASS, ROTARYI

Advance/FrontSTRの概要

静的変形解析

その他: 増分幅自動調整機能(弧長法ではない)

動的変形解析

- ・ 直接時間積分方法
中央差分法(陽的解法)、Newmark- β 法、HHT法(陰的解法)
- ・ その他
静的解析機能の全てを継承する

Advance/FrontSTRの概要

固有値解析

モード合成法
動的解析

固有値解析: Implicitly Restarted Arnoldi法

モード合成法:

- ・ 時刻歴応答解析
- ・ 周波数応答解析

非線形対応: 非線形変形後の状態での固有値解析可能である。

Advance/FrontSTRの新機能

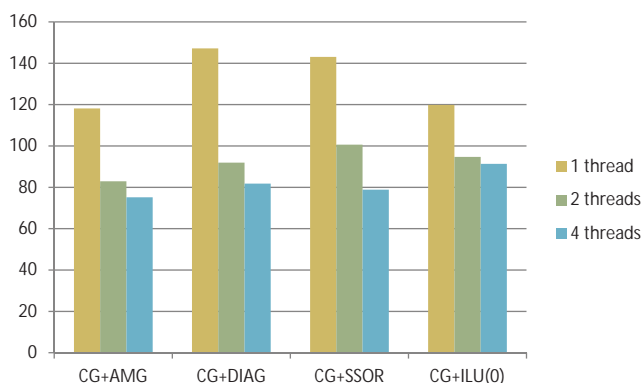
| | |
|------------------|----------------------------------|
| マトリクスソルバー | |
| | AMG, ILUプリー処理の導入 |
| | OpenMPIによる並列化 |
| 要素 | |
| | 新しい梁要素 |
| | シェル要素の機能追加(板厚方向の積分点数) |
| | 新しいマス要素 |
| | ジョイント要素を追加 |
| 材質 | |
| | UNIAXIAL材質追加 |
| 連成解析 | |
| | Advance/FrontFlow/Focusとの双方向連成解析 |
| その他 | |
| | OpenMPIによる並列化 |



Advance/FrontSTRの新機能

AMG及びILUプリ処理の導入

OpenMPによる並列化



線弾性問題
節点数: 84056
Windows 7
CPU: 3.20Hz
メモリー: 8GB

OpenMPによる並列化効率



Advance/FrontSTRの新機能

要素

追加した梁要素:

B2-BE: 2節点3次内挿Bernoulli-Euler梁

B2-T : 2節点線形内挿Timoshenko梁

B3-T : 3節点2次内挿Timoshenko梁

Advance/FrontSTRの梁要素:

| | 幾何非線形 | 材質非線形 | 接触非線形 |
|------------|-------|-------|----------|
| B2, B3 | ○ | ○ | Slave面のみ |
| B2-BE | ○ | 一部のみ | Slave面のみ |
| B2-T, B3-T | ○ | 一部のみ | Slave面のみ |

Advance/FrontSTRの新機能

要素

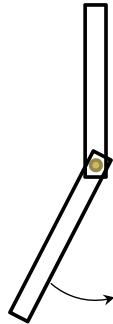
質量要素:

CMASS: 指定した方向しか質量しか存在しないマス要素

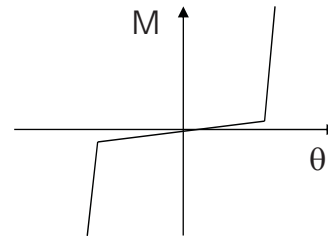
例: CMASS, 1,2, 10.0

ジョイント要素:

JOINT: 指定した自由度のみ動く接続要素



```
!JOINT, EGRP=JOINTE, MATERIAL=MJOINTRAIL
5
!MATERIAL, NAME=MJOINTRAIL
!UNIAXIAL
-1000.0, -1.6
-100, -1.570796
100, 1.570796
1000.0, 1.6
```

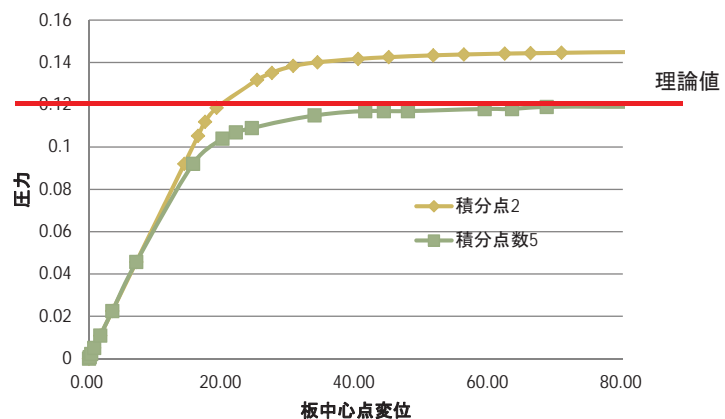
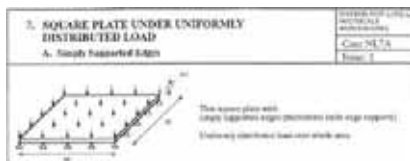


例: 回転変形だけできるJOINT

Advance/FrontSTRの新機能

要素改良

シェル要素: 板厚方向の積分点数指定可能

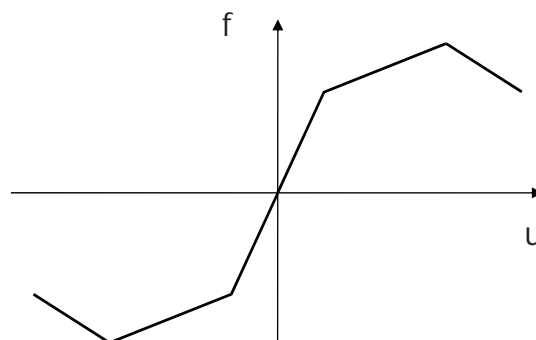


平板の塑性崩壊計算

Advance/FrontSTRの新機能

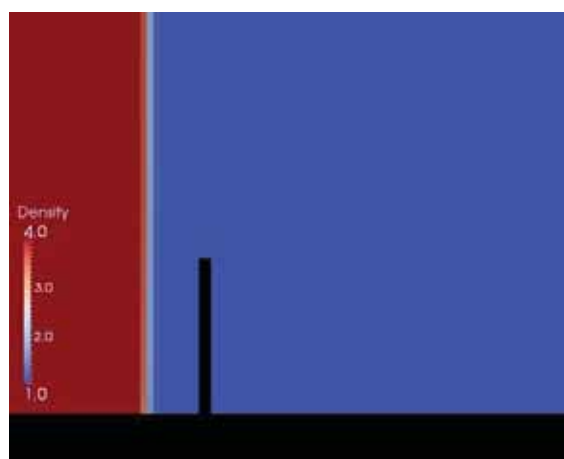
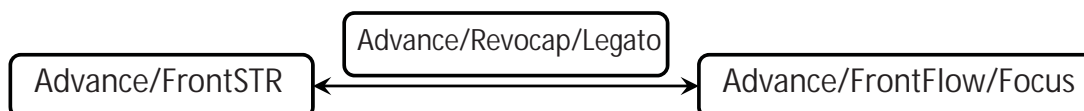
材質

UNIAXIAL材料: 任意曲線指定可能の弾性、弾塑性モデル。



Advance/FrontSTRの新機能

Advance/FrontFlow/Focusとの強連成解析機能



- 衝撃波を受ける壁(大変形を伴う連成解析)

本発表のまとめ

- Advance/FrontSTRの機能と特徴
- Ver.5.1で新規導入した機能

ご清聴ありがとうございました

構造解析ソフトウェアAdvance/FrontSTRと スパコンを使用した大規模計算への取り組み

研究員 尾川 慎介

構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTR 最新動向セミナー
2015年11月26日（木）
アドバンスソフト株式会社

内容

- 大規模計算の有用性
- アドバンス／スーパーコンピューティングサービス
- ベンチマーク計算

大規模計算の有用性

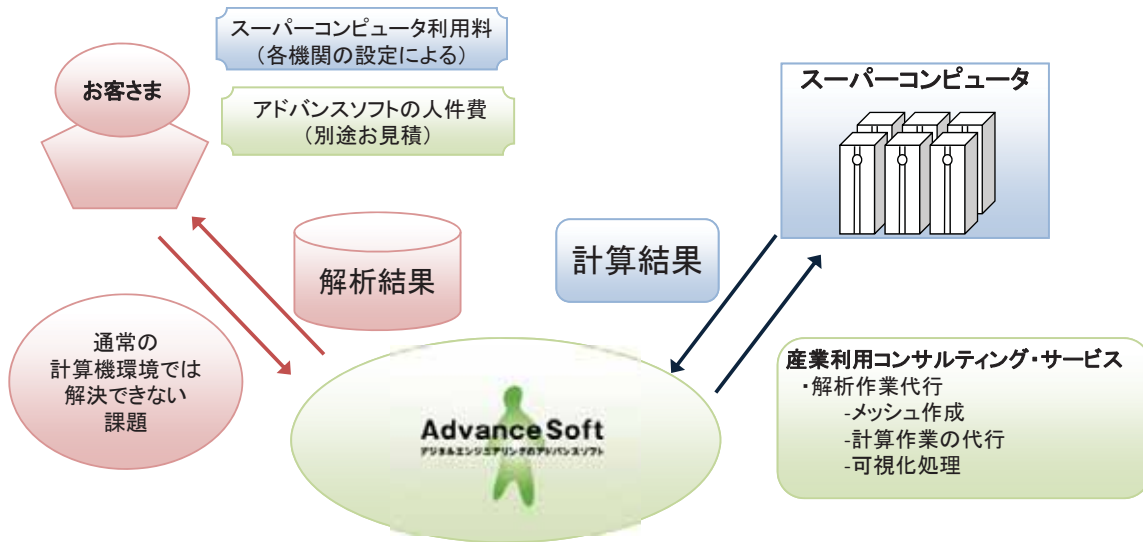
- モデルに対する工夫を減らせる
 - 細かいパーツや形状をより忠実に表現できる
 - シェル要素 vs. ソリッド要素（中立面の取り扱い）

- シミュレーションから得られる最良の解が得られる
 - 選択した理論、指定した境界条件や物性値.....における最良解

アドバンス／スーパーコンピューティングサービス

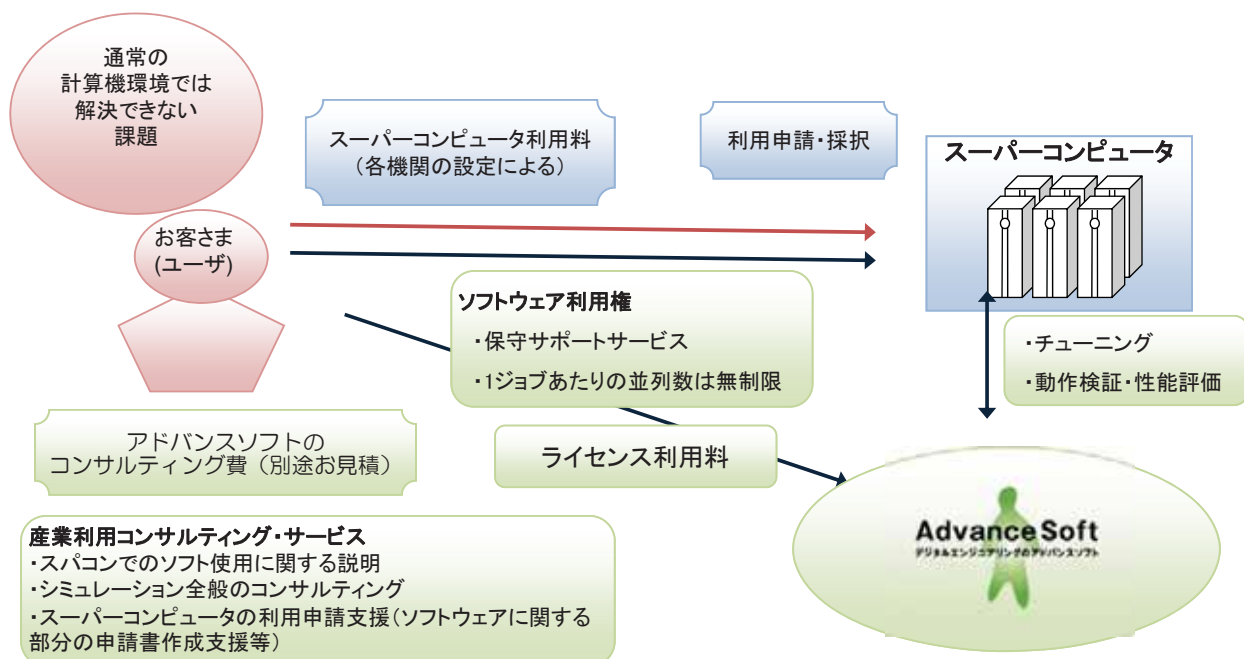
スーパーコンピュータでの利用形態(1)

○利用申請～解析までトータルでアドバンスソフトがサービスを提供する場合



スーパーコンピュータでの利用形態(2)

○お客さまご自身がスーパーコンピュータを利用される場合



スーパーコンピューティング・サービス(1)

◆ 対象ソフトウェア

- 流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red
- 気液二相流解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/MP * ①のみ
- 構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTR
- 音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise
- 第一原理計算ソフトウェア Advance/PHASE
- 3次元デバイスシミュレータ Advance/DESSERT * ②のみ

◆ 稼働環境

①スーパーコンピュータ「京」

利用申請先: 一般財団法人高度情報科学技術研究機構様
ヘルプデスク E-mail: helpdesk@hpci-office.jp

②大規模共有メモリシステムUV2000

利用申請先: 国立研究開発法人海洋研究開発機構様
有償利用担当 E-mail: es_apply@jamstec.go.jp

スーパーコンピューティング・サービス(2)

◆ ライセンス料金

- ・月単位でのライセンス利用料を設定
 - 1ソフトウェアにつき 5万円/月
- ・保守サポートサービス
 - 最新バージョンの使用権
 - E-mailによる問い合わせ対応
- ・1ジョブあたりの並列数は無制限

2016年3月31日までの特別価格です。

◆ 産業利用コンサルティング・サービス

- ・スパコンでのソフト使用に関する説明
- ・シミュレーション全般のコンサルティング
- ・スーパーコンピュータの利用申請支援(ソフトウェアに関する部分の申請書作成支援等)
- ・解析作業代行

別途御見積いたします。
お気軽にご相談ください。

スーパーコンピューティング・サービス(3)

◆ 計算機費用

| 利用種類 | 「京」 | | | UV2000 | |
|-------|-----------|----------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|
| | トライアル・ユース | 実証利用 | 個別利用 | 成果専有 | 成果公開型*1 |
| 募集 | 随時 | 年1回 | 随時 | 随時 | 年数回 |
| 利用期間 | 6ヶ月 | 1年 | 最長1年 | 年単位 | 年単位 |
| 成果の開示 | 公開 | 公開(3年以内、 査読付き論文等) | 非公開 | 非公開 | 公開 |
| 利用料金 | 無償 | 無償 | 14.53円 /ノード*時間 | 87円 /CPU(10コア) *時間 | 43円 /CPU(10コア) *時間 |

*1 新規採択は平成27年度まで

参照先URL

「京」: http://www.hpci-office.jp/pages/shinsei_sanngyou「京」: http://www.hpci-office.jp/pages/k_kobetsuUV2000 : <https://www.jamstec.go.jp/es/jp/uv/2000service.html>

9

その他のスーパーコンピュータ利用について(1)

◆ 対象ソフトウェア

- 流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red
- 気液二相流解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/MP
- 高速流解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/FOCUS
- 構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTR
- 音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise
- 第一原理計算ソフトウェア Advance/PHASE
- 3次元デバイスシミュレータ Advance/DESSERT

◆ 稼働環境

① FOCUSスパコン

利用申請先: 公益財団法人計算科学振興財団様

業務運用グループ E-mail: unyo@j-focus.or.jp

② TSUBAME

利用申請先: 国立大学法人 東京工業大学様

共同利用推進室 E-mail: kyoyo@gsic.titech.ac.jp

その他のスーパーコンピュータ利用について(2)

◆ライセンス料金

- ・月単位でのライセンス利用料を設定
 - 1ソフトウェアにつき 10万円/月～20万円/月(年間ライセンス価格の10%)
- ・保守サポートサービス
 - 最新バージョンの使用権
 - E-mailによる問い合わせ対応
- ・1ジョブあたりの並列数は無制限

◆産業利用コンサルティング・サービス

- ・スパコンでのソフト使用に関する説明
- ・シミュレーション全般のコンサルティング
- ・スーパーコンピュータの利用申請支援(ソフトウェアに関する部分の申請書作成支援等)
- ・解析作業代行

別途御見積いたします。
お気軽にご相談ください。

◆計算機費用

お問い合わせください。

動作確認済みのスパコンシステム

- ・地球シミュレータ 大規模共有メモリシステム (UV2000)
- ・スーパーコンピュータ「京」
 - 検証は互換性のある計算機 (FX10) で実施
- ・FOCUSスパコン(Dシステム)

製品版は主に Intel CPU を対象としているが、
京 (SPARC64) を含むほかのアーキテクチャでも利用可能

SGI UV2000



- ご協力： 国立研究開発法人海洋研究開発機構 様
- 地球シミュレータに付属する大規模共有メモリスistem
- スーパーコンピューティング・サービスの対象

| | |
|--------|-----------------------|
| ハードウェア | SGI UV2000 |
| CPU | Intel Xeon E5-4650 v2 |
| ノード数 | 1 |
| CPU数 | 256 |
| コア数 | 10 cores/CPU |
| メモリ容量 | 32 TB |
| 演算性能 | 49.152 TFLOPS |



SGI UV2000

画像は http://www.sgi.co.jp/company_info/press_releases/archives/20120619.html より

スーパーコンピュータ「京」



- 運営： 理化学研究所 計算科学研究機構 様
- スーパーコンピューティングサービスの対象

| | | |
|----------|------------------------------------|--------------------------|
| 計算ノード | CPU | SPARC64™ VIIIfx 2GHz |
| | CPU性能 | 128 GF (16 GF x 8 cores) |
| | メモリ容量 | 16 GB |
| 筐体の数 | 864 | |
| ノードの数 | 82,944 | |
| ネットワーク | Tofu インターコネクト (6D Mesh/Torus) | |
| ピーク性能 | 10.62 PF | |
| メモリ容量 | 1.26 PB | |
| ファイルシステム | Fujitsu Exabyte File System (FEFS) | |
| ストレージ | 30 PB | |



- Top500** 2011年6月と11月に世界1位
- Graph500** 2014年6月と2015年7月に世界1位
- HPCG** 2014年11月と2015年7月に世界2位

資料および画像提供：理化学研究所

FUJITSU PRIMEHPC FX10



- FX10(「京」と互換性をもつアーキテクチャ)への移植及び性能検証を一般財団法人高度情報科学研究機構様との共同研究で実施。

| | |
|--------|-----------------------|
| ハードウェア | FUJITSU PRIMEHPC FX10 |
| CPU | SPARC64 IXfx |
| ノード数 | 48 |
| CPU数 | 1 CPU/node |
| コア数 | 16 cores/CPU |
| メモリ容量 | 32 GB/node |
| 演算性能 | 211.2 GFLOPS/node |



FUJITSU PRIMEHPC FX10

画像は <http://www.fujitsu.com/jp/products/computing/servers/supercomputer/primehpc-fx10/> より

Copyright ©2015 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

FOCUSスパコン



- 運営： 公益財団法人計算科学振興財団 様
- 産業界専用の公的スーパーコンピュータ

| | |
|--------|-----------------------|
| ハードウェア | Cray H2312 |
| CPU | Intel Xeon E5-2670 v2 |
| ノード数 | 80 |
| CPU数 | 2 CPU/node |
| コア数 | 10 cores/CPU |
| メモリ容量 | 64 GB/node |
| 演算性能 | 400 GFLOPS/node |



FOCUSスパコン

※ Dシステムの仕様

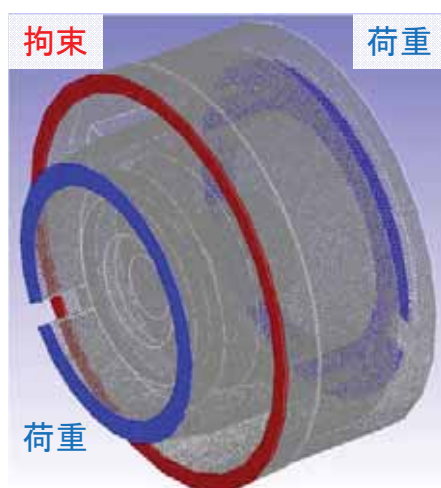
画像は <http://www.j-focus.or.jp/focus/> より

Copyright ©2015 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

ベンチマーク計算

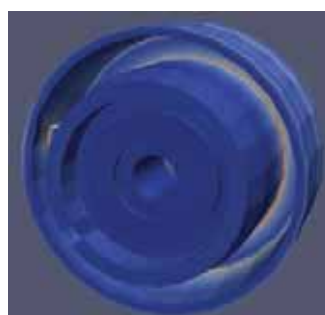
ベンチマーク問題

- 静解析

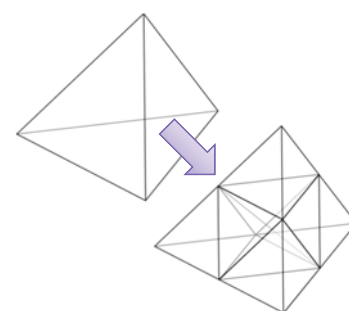


モデル(すべて四面体二次要素)

| | 要素数 | 節点数 |
|-----------------------------|-------------|-------------|
| オリジナル | 684,807 | 1,008,911 |
| メッシュ細分化機能 (REVOCAP_Refiner) | | |
| リファイン2回 | 43,827,648 | 60,089,084 |
| リファイン3回 | 350,621,184 | 474,183,032 |



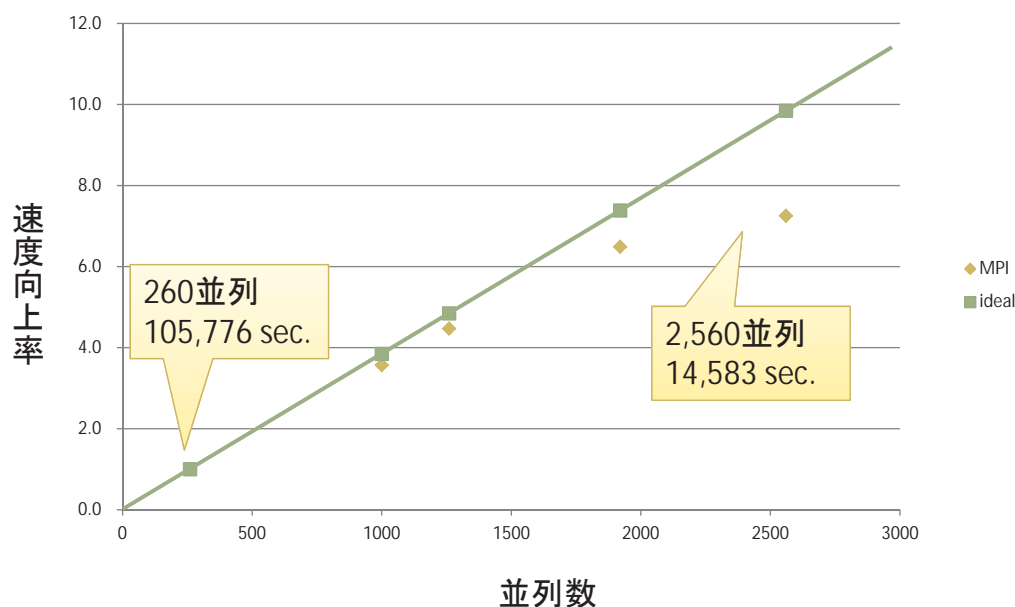
ミーゼス応力



メッシュの細分化

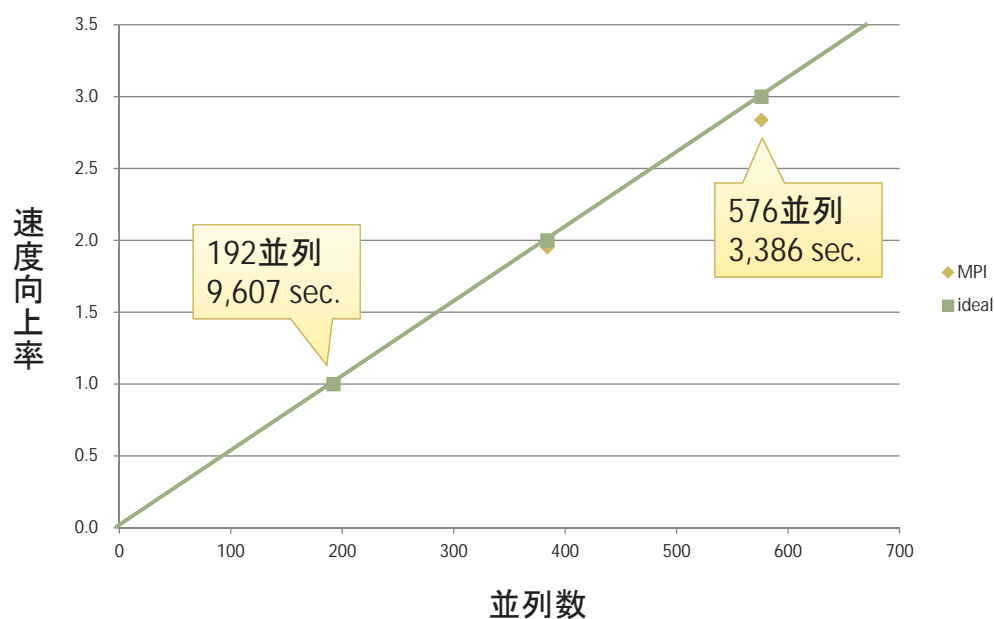
ベンチマーク結果 (UV2000)

3.5億要素(リファイン3回)



ベンチマーク結果 (FX10)

4400万要素(リファイン2回)



まとめ

大規模計算は

- モデルに対する工夫を減らせる
- シミュレーションから得られる最良の解が得られる

Advance/FrontSTR は

- 大規模並列計算においても良好な処理性能を有する。
- ご紹介したシステムにおいて動作検証が終了している。
- リファイナーなどの支援ツールも利用可能である。

汎用プリポストプロセッサ Advance/REVOCAPの概要と特長

主任研究員 徳永 健一

構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTR 最新動向セミナー
2015年11月26日（木）
アドバンスソフト株式会社

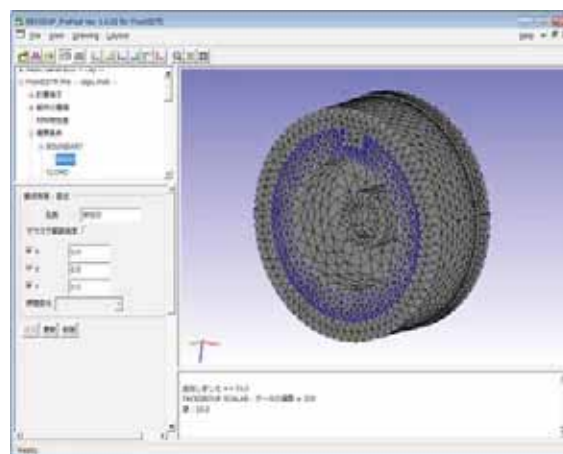
Advance/REVOCAP とは

有限要素法、有限体積法を用いた構造解析ソフト及び流体解析ソフトのための汎用プリポストプロセッサです。


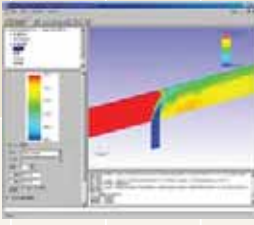
特にAdvance/FrontFlow/redとAdvance/FrontSTRの専用の入力GUIを備え、解析者の手間を削減します。

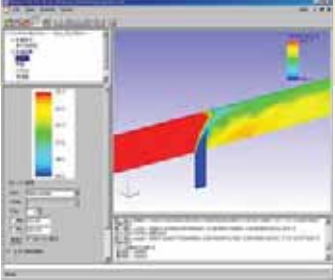
その他、Advance/FrontFlow/MP、Advance/FrontFlow/FOCUSおよびAdvance/FrontNoise に対応しています。

文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」プロジェクトで開発された、連成解析用のプリポストプロセッサ REVOCAP_Visual、および文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」で開発されたREVOCAP_PrePostをアドバンスソフトが機能を拡張して商品化したものです。



Advance/REVOCAPの開発経緯

| | 2005-2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|--|--------------------------|---|-------------------------|--|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------|
| 革新PJ REVOCAP_Mesh REVOCAP_Visual | → 連成解析用 プレポストプロセッサ |  | |  | | | | | |
| イノベーションPJ REVOCAP_PrePost | | | | | → 大規模アセンブリ構造対応 プレポストプロセッサ | | | | |
| アドバンス版 Advance/REVOCAP | | ▲ 7月 v2.0 FFr | ▲ 7月 v2.2 FSTR | ▲ 8月 v2.3 FFr FSTR | ▲▲ 7月 V3.0 FFr FSTR | ▲▲ 12月 V3.1 FSTR シェル | ▲ 2月 V3.2 FFr Noise | ▲ 9月 V4.0 MP FSTR | |



Advance/REVOCAP for FrontSTRの基本機能

メッシュ生成機能

STL、IGES、STEP形式の形状データファイルから四面体要素を自動生成します。

境界条件設定機能

拘束(局所座標系)、荷重、体積力、多点拘束、接触など
シェル、混在自由度

Advance/FrontFlow/redとの連成解析設定

材料物性値の編集と設定

簡易材料データベース

非線形材料(塑性、超弾性、粘弾性)に対応したパラメータ入力

解析条件設定機能

線形ソルバ、出力、並列等の設定

ポスト処理

カラーコンター、変形、断面

アニメーション作成支援

混在自由度モデルの可視化

Advance/REVOCAP Ver.4.0 の新機能

最新バージョンのソルバーに対応

Advance/FrontFlow/red Ver.5.2

Advance/FrontSTR Ver.5.1

その他、Advance/FrontNoise、Advance/FrontFlow/MP、

Advance/FrontFlow/FOCUSの最新版へ対応予定

距離関数によるメッシュ生成機能

二相流解析の結果の固相分布、フェーズフィールド法の結果の秩序変数を用いたメッシュ生成も可能

局所メッシュ細分機能

領域指定、解析結果適合

カラーマップの追加

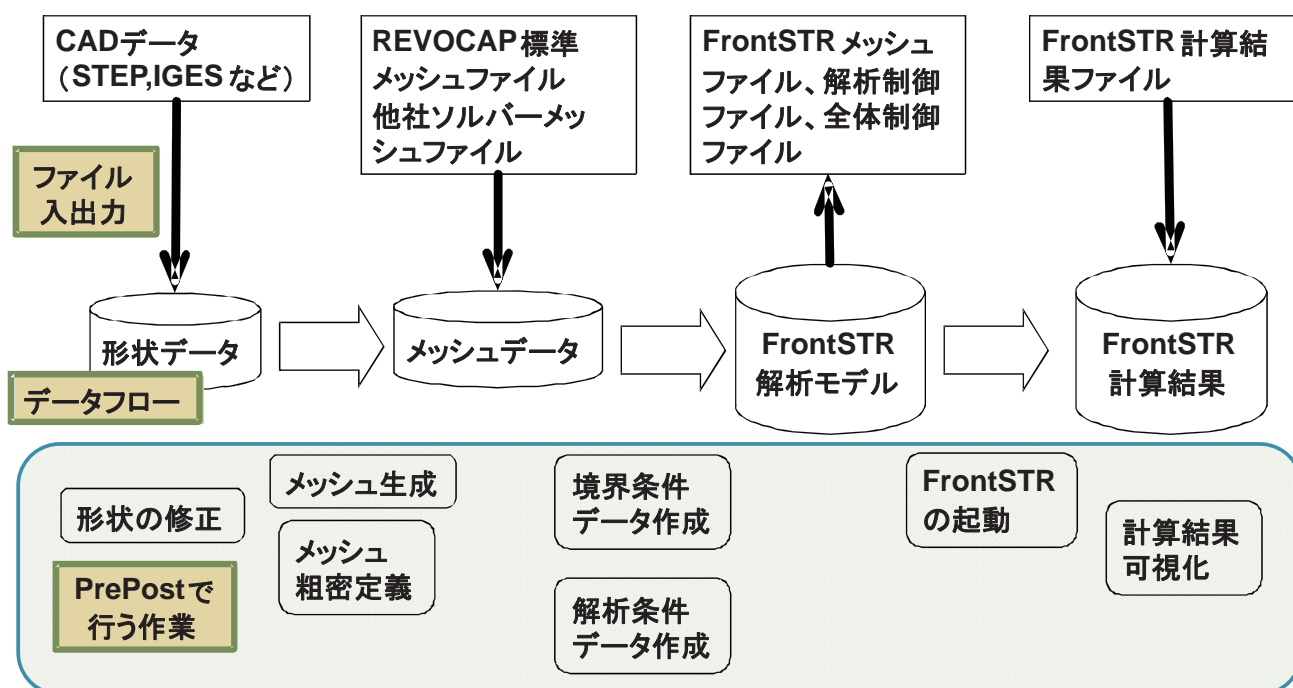
可視化結果の色合いが均等になるように自動的に割り当て

外部シェーダープログラムが利用可能

描画の高速化

描画のカスタマイズが容易に

Advance/REVOCAPを使って解析を行う手順



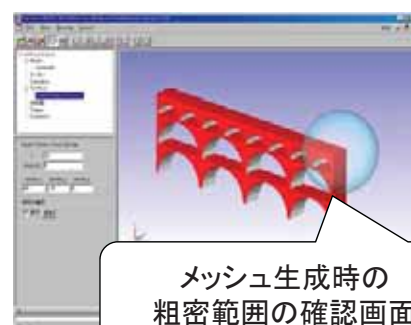
Advance/REVOCAPのメッシュ生成機能(1)

- 形状データ(IGES、STEP、STL)から自動的に四面体メッシュを生成します。
- 手順
 1. モデルデータの読み込み
 2. モデルの修正
 3. メッシュ生成パラメータの設定
 4. メッシュ生成
- メッシュ生成エンジン
 - ADVENTURE_TetMesh
 - Simmetrix

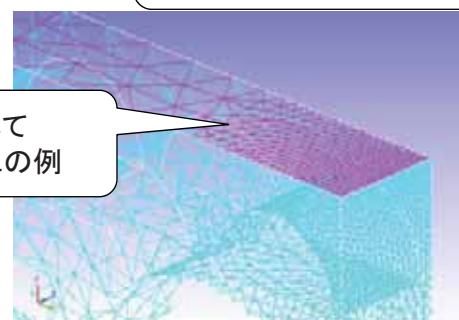
Copyright ©2015 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

Advance/REVOCAPのメッシュ生成機能(2)

- 粗密制御機能
 - 四面体自動生成の要素の大きさの粗密を与えます。
 - 形状の近傍を細かくします。
 - 物理量の変化が大きいところを細かくします。
- 粗密制御の方法
 - 場所の指定
 - ある点の周り(球の内部)
 - ある線分の周り(円柱の内部)
 - 倍率の指定
 - 周りの要素に対する倍率



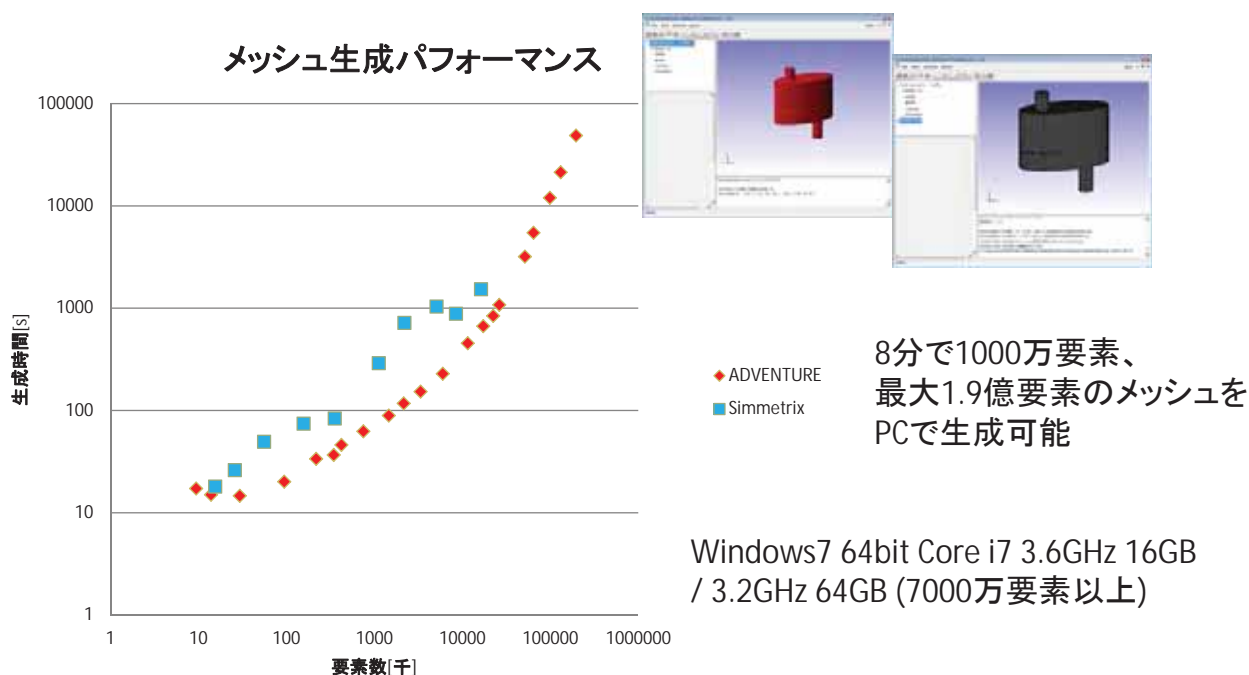
メッシュ生成時の粗密範囲の確認画面



粗密を定義して生成したメッシュの例

Copyright ©2015 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

Advance/REVOCAPのメッシュ生成機能(3)



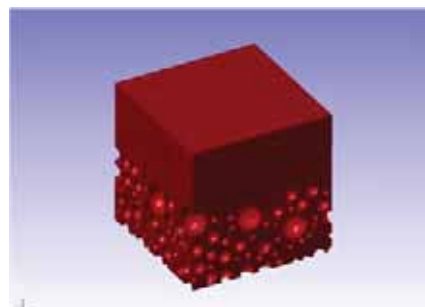
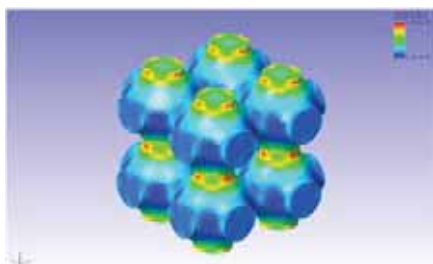
距離分布が与えられた時のメッシュ生成

従来の方法

CAD形状⇒三角形パッチ⇒(自動メッシュ生成)四面体
と比べて、よりrobustなメッシュ生成手法

形状を物体表面からの符号付きの距離の情報として与えられた時に、距離が負の領域のメッシュを自動生成する

- 半径rの球体: $d(x,y,z)=x^2+y^2+z^2-r^2$ の値が負になる領域
- 三角形パッチから計算した距離分布
- 数式で与えられる結晶構造
- 二相流解析の結果の固相分布の値

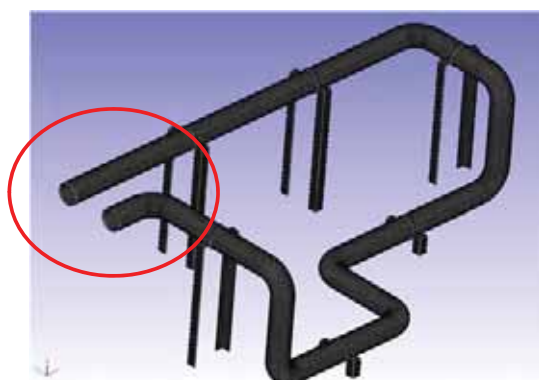


球体をランダム充填した外側の領域

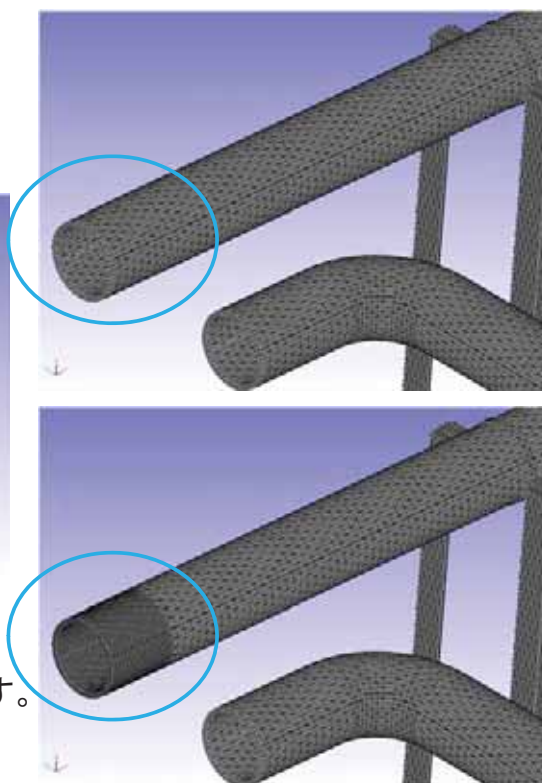
材料科学の分野で現れる三重周期極小曲面の一種SchwarzP曲面

局所細分機能(領域指定)

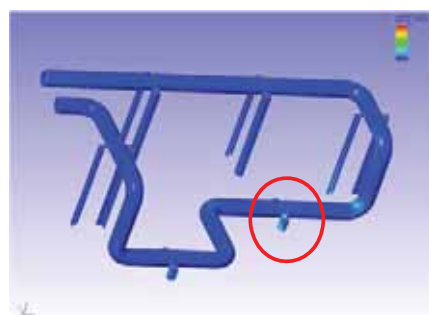
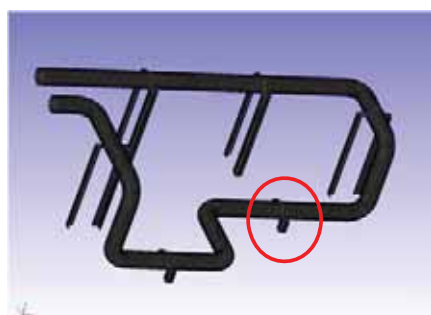
メッシュの一部を細分する機能です。



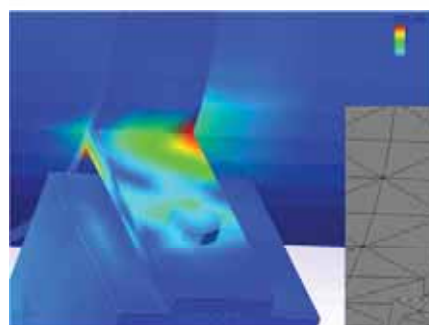
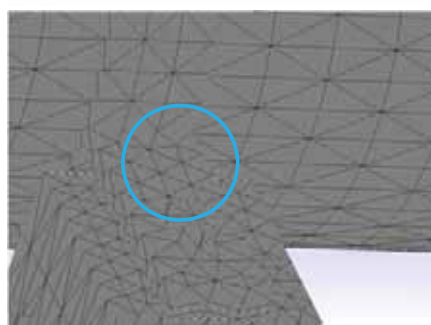
領域を直方体(頂点のxyz座標) または球体(中心座標と半径)で与えて、そこに含まれる要素を細分します。



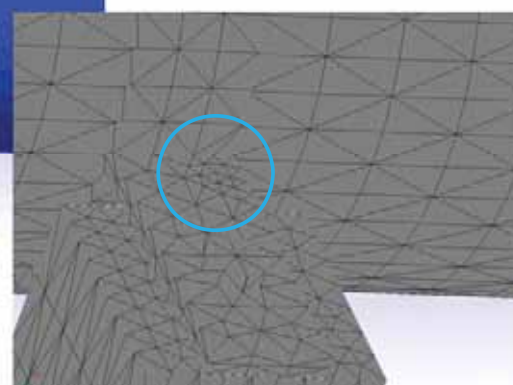
局所細分機能の例(四面体・解適合)



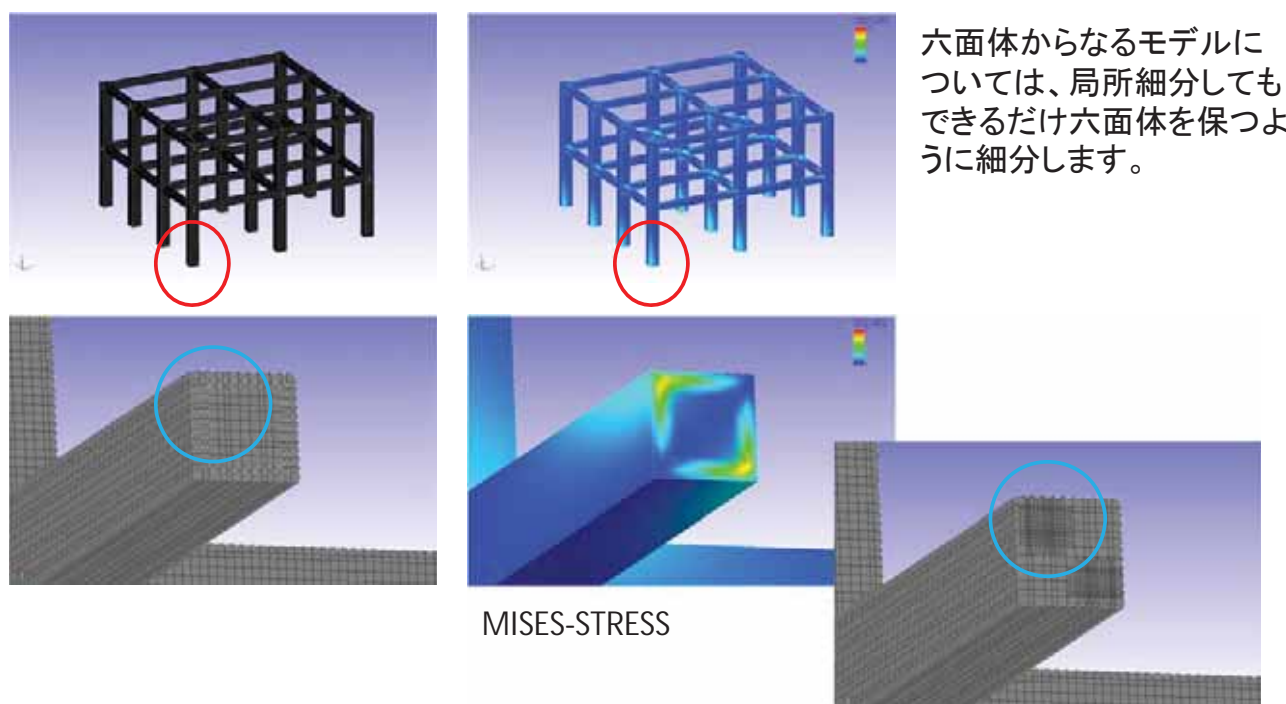
物理量と閾値を与えて、閾値以上の値を持つ要素を細分します。



MISES-STRESS



局所細分機能の例(六面体・解適合)

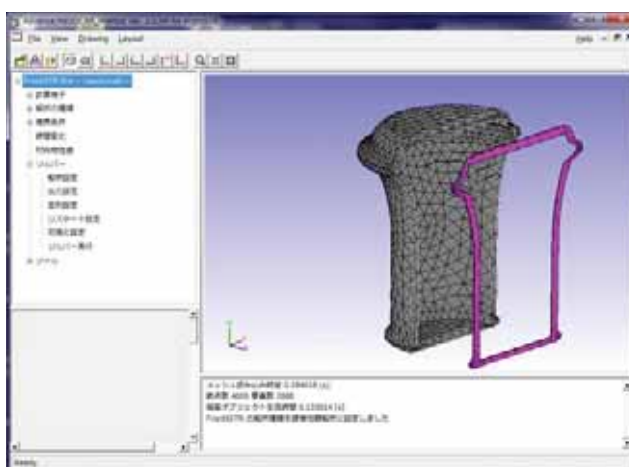


六面体からなるモデルについては、局所細分してもできるだけ六面体を保つように細分します。

MISES-STRESS

Advance/FrontSTRの解析モデル作成(1)

- 解析モデルの読み込み
 - － Advance/REVOCAPで生成したメッシュ以外に、他社製ソルバーの解析モデルについても読み込みに対応
 - － 四面体、六面体、三角柱および混合要素に対応
- モデル操作インターフェイス
 - － モデルを面ごとにマウスでドラッグ可能
 - － 境界条件を与える面を直観的に操作できる



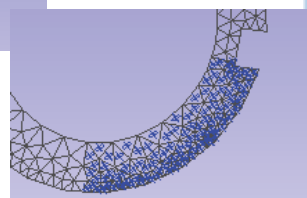
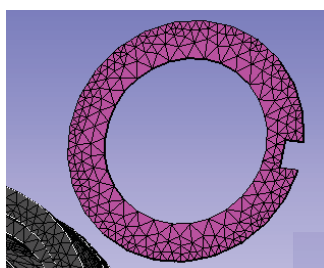
Advance/FrontSTRの解析モデル作成(2)

- 解析の種類を選択
 - 静解析、固有値解析、熱解析、動解析、モード応答解析から選択
 - 解析ごとに定義できる境界条件が変化します。
- それぞれの解析に関する固有の設定を行います
- 解析ごとのステップの設定を行います
 - ステップごとに有効とする非線形解析の反復回数を指定することができます。
 - ステップごとの有効な境界条件の設定は境界条件の定義後に行います。



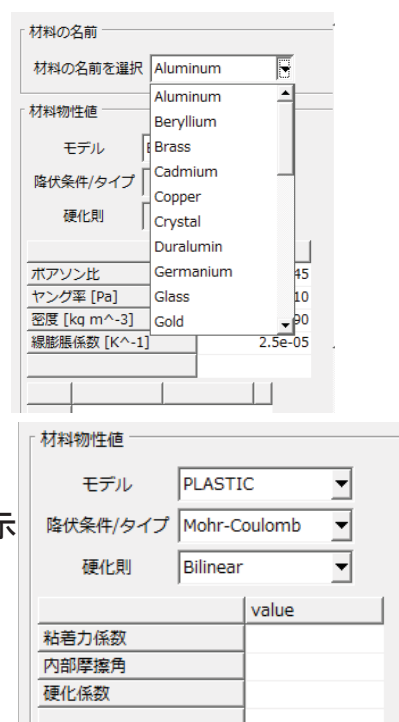
Advance/FrontSTRの解析モデル作成(3)

- 境界条件の設定解析
 - 設定項目は行う解析ごとにツリー状に整理されています
- 拘束条件、荷重条件の設定
 - 3D画面上でマウスで選択した面に境界条件を与えます
 - 3D画面上で面をドラッグして、その一部分をマウスで選択して与えることもできます



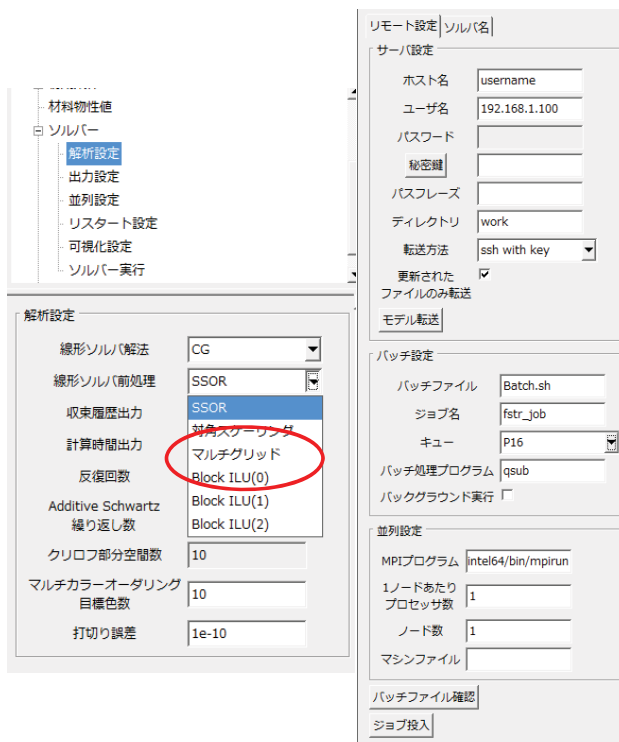
Advance/FrontSTRの解析モデル作成(4)

- 材料物性値の設定方法
 - ① 材料データベースの編集
 - ② 領域への割り当て
- 材料データベース
 - 弾性静解析ならそのまま利用可能
 - 独自のデータを追加可能
 - Excel でデータベースの編集可能
- 材料データベースの編集
 - 材料モデルに必要なパラメータだけを表示
- 領域への割り当て
 - 3D画面上で直観的に確認しながら



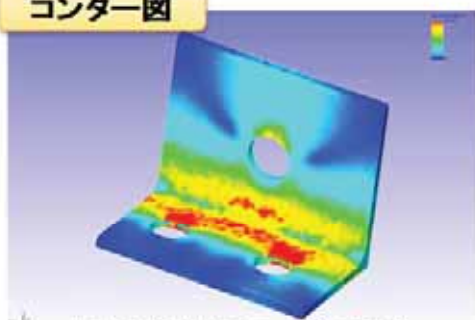
Advance/FrontSTRの解析モデル作成(5)

- 解析条件設定
 - 線形ソルバーのパラメータ設定
 - 並列解析のパラメータ設定
- 並列計算機上のスクリプト生成
 - 計算機環境に応じたバッチスクリプトを自動生成
 - スケジューラに応じたカスタマイズ可能
- 並列計算機へファイル転送機能
 - 解析モデルとスクリプトを転送してジョブを投入するところまで自動化



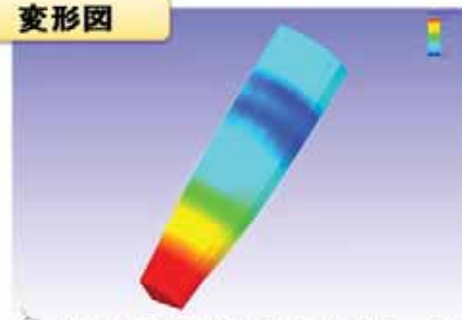
Advance/FrontSTRの計算結果可視化(1)

コンター図



ヒンジ部品のミーゼス応力

変形図



丸棒1/8モデルの変形・ミーゼス応力

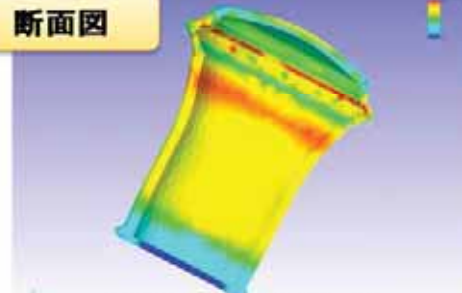
面の移動



面を移動して
内部を
観察できる

穴あきブロックの温度分布

断面図



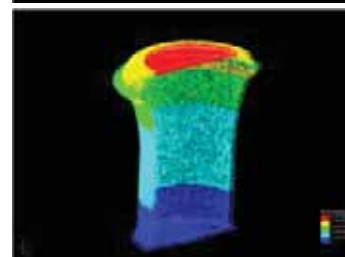
容器のミーゼス応力

Copyright ©2015 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

Advance/FrontSTRの計算結果可視化(2)

連続体を不透明で自己発光する粒子群で表現する
PBVR法を用いたボリュームレンダリング

- ポリゴンをレンダリングしないため、高速に描画可能
- レンダリングする粒子数は自由に制御できるので、大規模解析の概要を高速に描画することができる
- 断面を描画する場合も断面用のポリゴンを生成しないために即座に表示できる



Copyright ©2015 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

Advance/FrontSTRの計算結果可視化(3)

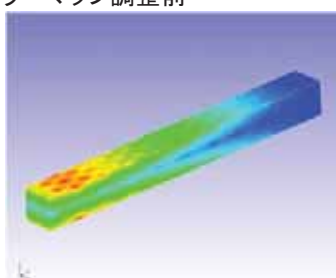
カラーマップ調整機能

通常のカラマップは物理量に対して色を割り当てるため、解析結果によっては、詳細にみたい値のレンジが同じ色でつぶれてしまったり、ほとんどが中間の値の色の冗長な可視化になる場合がある。

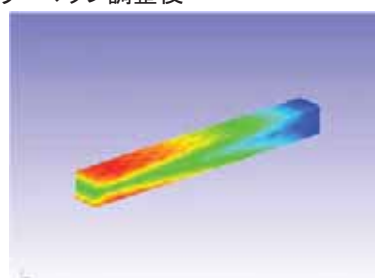


物理量の値分布に従って色を割り当てる。
色の変化と物理量の変化は比例しないが、全ての色を同程度使って可視化する。

カラマップ調整前



カラマップ調整後

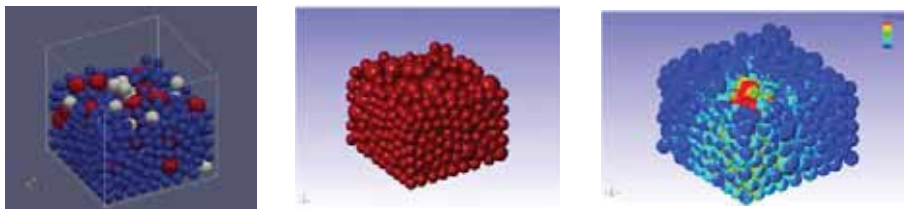


プログラマブルシェーダへの対応

- Advance/REVOCAPの可視化手法として、プログラマブルシェーダへの対応を進めています。
- お客様ご自身で記述したシェーダ、特殊な可視化のために弊社でカスタマイズ開発したシェーダを使った可視化を行うことができます。
- カラーマップ調整機能はプログラマブルシェーダで提供される機能の例です。

その他のREVOCAP関連ソフトウェア

- 微細構造モデリングツール
Advance/REVOCAP_PorousModeler
 - 通常のメッシュ生成で作成することが難しい解析モデルを作成する



- メッシュ細分割ライブラリAdvance/REVOCAP_Refiner
 - Advance/FrontSTRに内蔵されているメッシュ細分割ライブラリ
- 双方向連成解析ライブラリAdvance/REVOCAP_Legato
 - 構造格子系と非構造格子系の連成解析を実現する
 - Advance/FrontFlow/FOCUSとAdvance/FrontSTRの双方向連成を実現

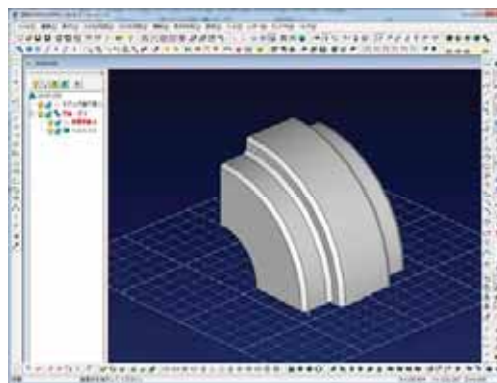
外部CADとの連携

- 株式会社フォトロン様の3DCAD「図脳RAPID3DPRO」
「図脳RAPID3D」との連携を強化してまいります。
- バンドル版の販売を予定しています。
 - Advance/FrontSTR
 - Advance/REVOCAP
 - 図脳RAPID3D

Photron



http://www.photron.co.jp/



図脳RAPID3DPRO

Advance/REVOCAPの基本情報

| | |
|-----------|---|
| 動作環境 | Windows7 (32bit, 64bit)、その他の環境をご希望の場合はお問い合わせください |
| 形状モデル読み込み | IGES(5.3)、STEP、STL |
| メッシュ生成 | 四面体自動メッシュ生成、押し出しメッシュ生成、2次要素対応、粗密制御対応、外部メッシュ細分、解適合格子生成 |
| 計算格子読み込み | HECMW形式、(その他各種のフォーマットに対応いたします。詳細はお問い合わせください。) 四面体、六面体、三角柱、四角錐、三角形(シェル)、四角形(シェル)、トラス |
| プリ処理 | 境界条件設定機能、解析条件設定機能、材料物性値簡易データベース機能、ステップ解析設定機能、メッシュ品質チェック機能 |
| ポスト処理 | カラーコンター、等値面、ベクトル、切断面、変形、アニメーション作成、ボリュームレンダリング |
| 推奨PCスペック | メインメモリ2GB以上(1千万要素以上の大規模モデルを扱う場合は16GB以上を推奨します) 空きHDD500MB以上 ビデオメモリ256MB以上(大規模モデルを扱う場合は1GB以上) |



警告

このレポートに収録されている文章および内容については、ご自身のために役立つ用途に限定して無料配布しています。このレポートを、販売、オークション、その他の目的で利用するには、著作権者の許諾が必要です。このレポートに含まれている内容を、その一部でも著作権者の許諾なしに、複製、改変、配布を行うことおよびインターネット上で提供する等により、一般へ送ることは法律によって固く禁止されています。