ACS SASSI Version 4.3 IKTR3
リリースノート

2021年11月19日

Customer Satisfaction
by Computer Solution
& Computer Simulation
株式会社 テラバイト

目次

1. EQUAKE/MOTIONモジュールにおける
   応答スペクトル計算時の解像度向上機能の追加および変更

2. バネ要素の要素座標系オプションの導入

3. 鋼版コンクリート壁（SC composite wall）モデル化のための
   せん断強度低減機能の追加

4. Option UPLIFT :
   JEAC4601-2015に準拠した基礎浮き上がり解析機能の追加

5. Option NON Advanced :
   JEAC4601-2015に準拠した鉄筋コンクリート構造物に対する
   等価線形解析機能の追加

1. EQUAKE/MOTIONモジュールにおける
応答スペクトル計算時の解像度向上機能の追加および変更

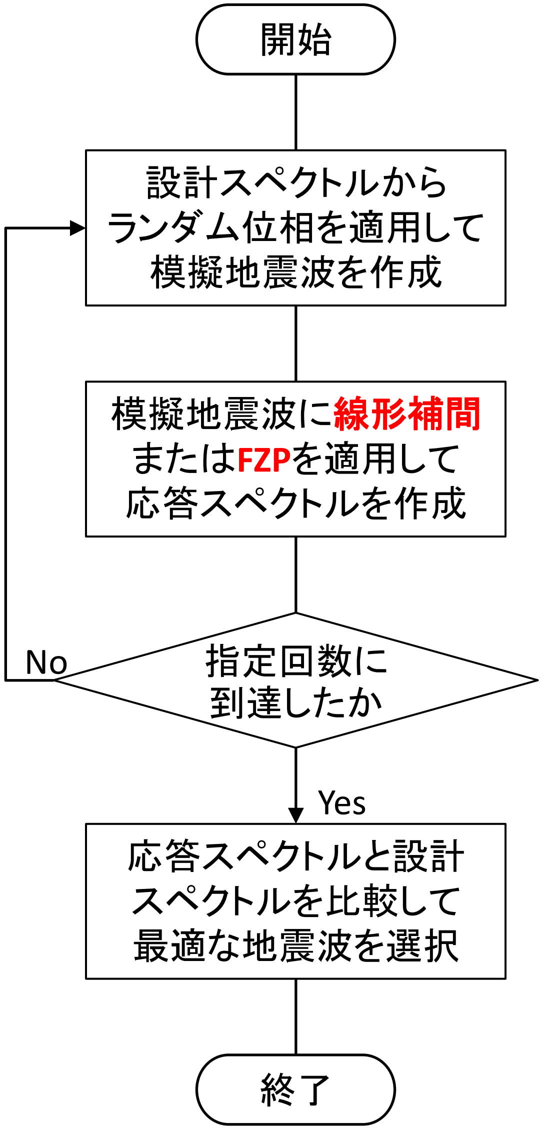
＜EQUAKEモジュールの機能追加＞

EQUAKEは設計スペクトルから模擬地震波を作成するためのモジュールです。

右図はランダム位相の条件で模擬地震波を作成する際のフローチャートです。
ランダム位相で模擬地震波を作成する際、設計スペクトルから模擬地震波を作成し、応答スペクトルへ変換するという工程を指定回数繰り返します。その後、模擬地震波から作成した応答スペクトルと設計スペクトルがどの程度一致しているか評価し、最も一致する模擬地震波を選択します。

模擬地震波の応答スペクトルを作成する際、従来は時刻歴波形を**線形補間**してデータ点数を増やすことにより解像度を上げていましたが、本リリースより**フーリエゼロパディング**（**FZP**）も選択できるようになりました。

フーリエゼロパディングはASCE43-19で推奨される手法で、応答スペクトルの高周波領域の計算精度を向上することができます。

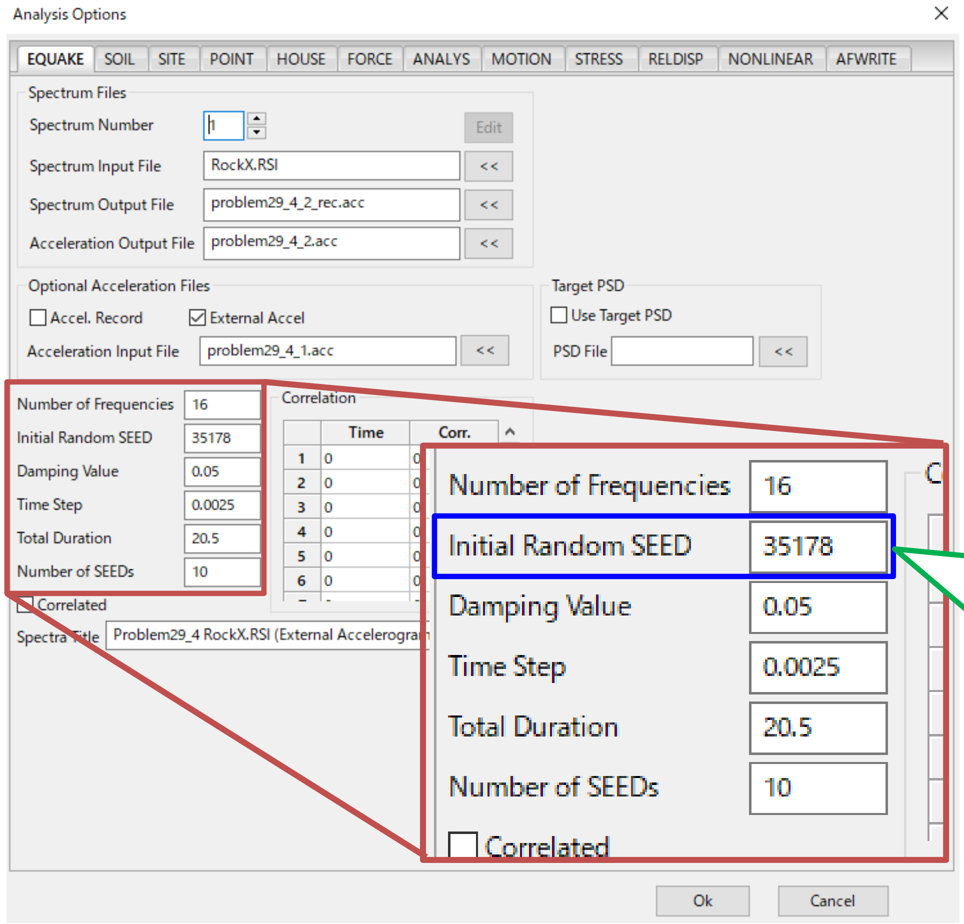


1. EQUAKE/MOTIONモジュールにおける 応答スペクトル計算時の解像度向上機能の追加および変更

株式会社 テラバイト

＜EQUAKEモジュールの機能追加（操作方法）＞

模擬地震波のデータ点数を増やすため、線形補間かフーリエゼロパディングを使用します。
設定方法を以下に示します。



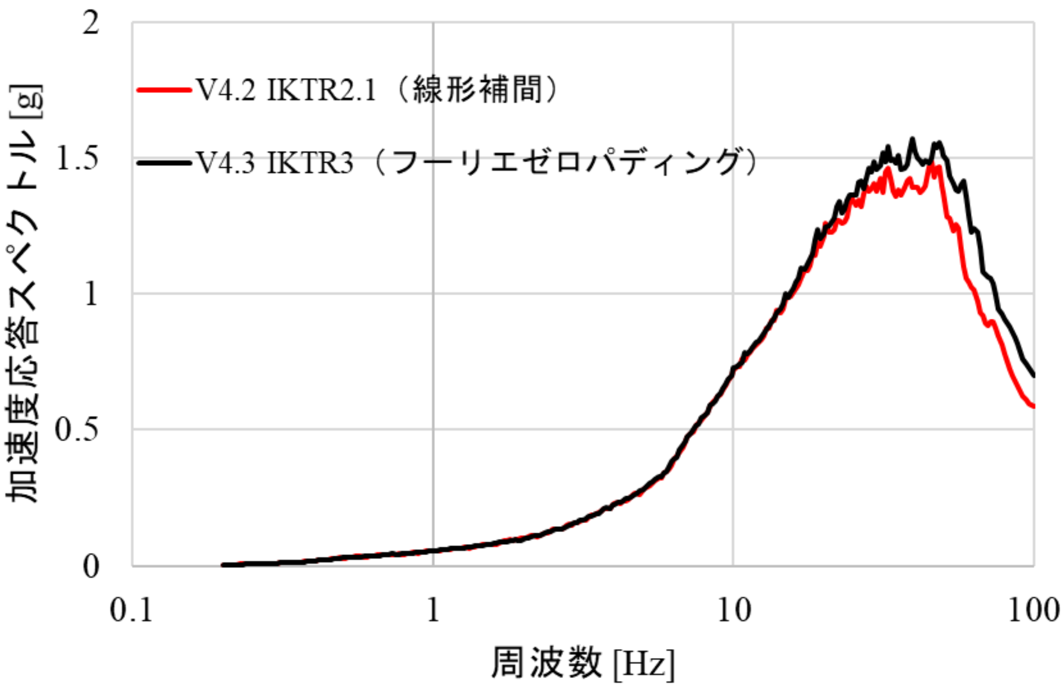
ランダムシード値を**奇数**とするか**偶数**とするかでデータ点数を増やす方法を設定できます。

奇数：線形補間
偶数：フーリエゼロパディング

EQUAKEコマンドを使用する場合は、第3引数にランダムシードを設定してください。

＜EQUAKEモジュールの機能追加（挙動の違い）＞

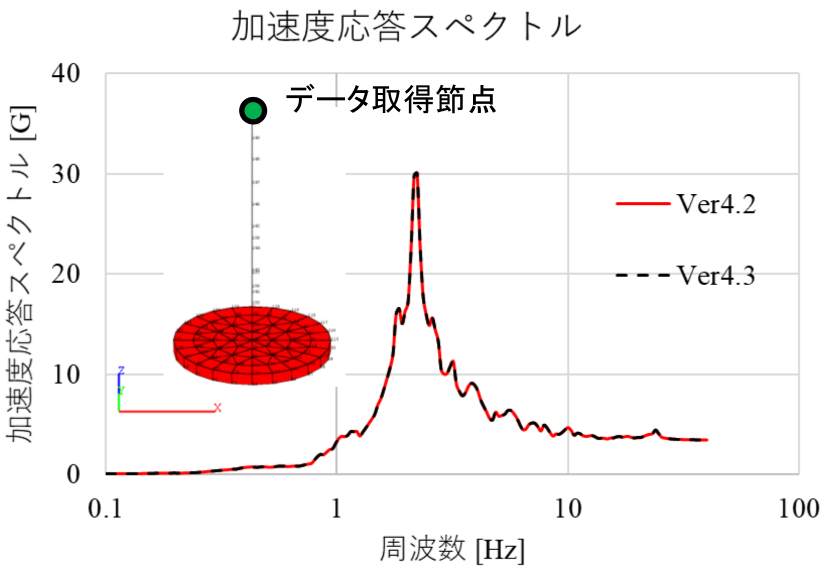
下図は前バージョン（Version 4.2）と本バージョン（Version4.3）でシード値を固定して応答スペクトルを作成した時の比較プロットです。
データ点数を増やす処理の違いによって、高周波領域に影響を与え、フーリエゼロパディングの方が保守的な見積もりとなることがわかります。

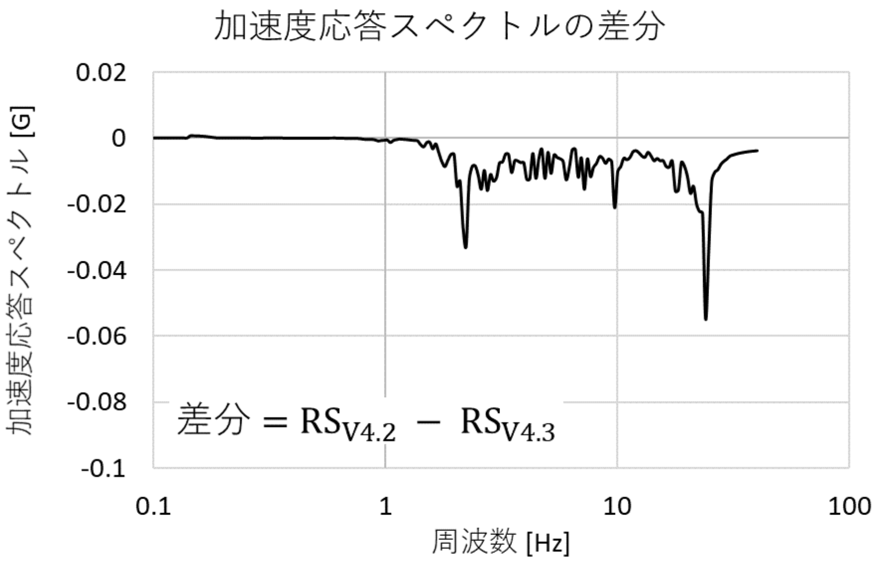


＜MOTIONモジュールの機能変更＞

MOTIONモジュールでは、加速度時刻歴から応答スペクトルに変換する際のデータ点数を増やす処理が線形補間からフーリエゼロパディングに変更になります。

下図は前バージョン（Version 4.2）と本バージョン（Version4.3）の応答スペクトルの比較と差分のプロットです。データ点数を増やす処理の違いが応答スペクトルに与える影響は小さいですが、差分プロットを見るとフーリエゼロパディングを使用したVersion4.3の方が応答が大きくなることがわかります。





2. バネ要素の要素座標系オプションの導入

株式会社 テラバイト

＜機能概要＞

従来のACS SASSIに実装されているバネ要素は全体座標系を基準に決定されました。
本バージョンより要素座標系を定義するオプションが追加されました。

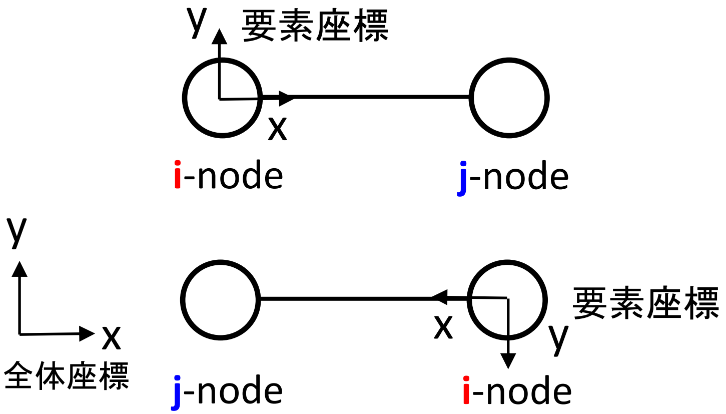
要素座標系のX, Y, Z正方向はそれぞれ以下のように決定されます。

要素座標系の各成分ベクトル： $\hat{x}_e, \hat{y}_e, \hat{z}_e$

全体座標系の各成分ベクトル： $\hat{x}_G, \hat{y}_G, \hat{z}_G$

1. X正方向$\hat{x}_e$は、i-nodeからj-nodeへ向かう方向
2. Y正方向$\hat{y}_e$は、$\hat{x}_e$と$\hat{z}_G$の外積（$\hat{y}_e = \hat{x}_e \times \hat{z}_G$）

   ただし、$\hat{x}_e$と$\hat{z}_G$が平行の時 $\hat{y}_e = \hat{y}_G$
3. Z正方向$\hat{z}_e$は、$\hat{x}_e$と$\hat{y}_e$の外積（$\hat{z}_e = \hat{x}_e \times \hat{y}_e$）



＜設定方法＞

バネの特性をSCコマンドで定義する際、減衰値を正の値で入力すると全体座標系、
負の値で入力すると要素座標系の設定になります。

```
SC,<nm>,<scx>,<scy>,<scz>,<scxx>,<scyy>,<sczz>,<damp>
```

3. 鋼版コンクリート壁(SC composite wall)モデル化のためのせん断強度低減機能の追加

＜機能概要＞

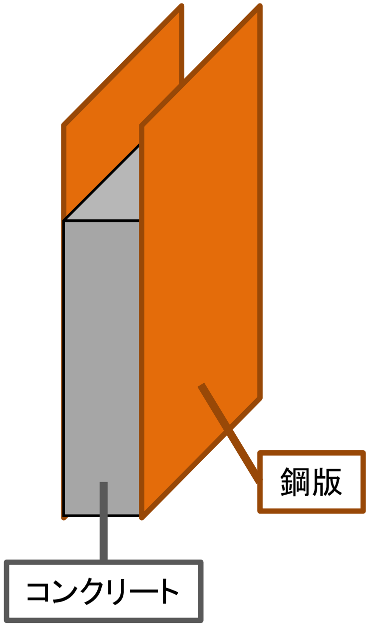
本バージョンより厚肉シェル要素(TSHELL)のオプションとして、鋼版コンクリート壁(Steel-plate Composite wall: SC壁)をモデル化する機能が追加されました。異方性のあるSC壁をモデル化するため、面外方向のせん断剛性(transverse shear stiffness)を低減する機能が追加されています。

＜設定方法＞

TSHELL要素に割り当てる材料物性のうちP波減衰率とS波減衰率に異なる値を入力することで、SC壁の設定をすることができます。
材料物性はMコマンドを使用して設定することができます。

M,<nm>,<val1>,<val2>,<weight>,<pdamp>,<sdamp>,<type>

- <nm> - 材料番号
- <val1> - ヤング率
- <val2> - ポアソン比
- <weight> - 単位体積重量
- <pdamp> - P波減衰率
- <sdamp> - S波減衰率
- <type> - 入力タイプ番号



SC壁

4. Option UPLIFT : JEAC4601-2015に準拠した基礎浮き上がり解析機能の追加

株式会社 テラバイト

＜機能概要＞

Option UPLIFTは原子力発電所耐震技術規定（JEAC4601-2015）で推奨される基礎浮き上がりによる非線形性を考慮した地盤-構造物連成（SSI）の地震応答解析機能をサポートしています。

JEAC4601-2015推奨の手法は、質点-梁-バネ要素からなる原子力建屋モデルの基礎の回転角を基に接地率を計算し、一定の接地率以下になったら転倒モーメントに応じて地盤バネの剛性と減衰を調整することにより、浮き上がり効果を含んだSSI解析を実施するというものです。

ACS SASSIではJEAC4601-2015の考え方を基に、3次元有限要素モデルを用いて転倒モーメントに応じた**地盤インピーダンス**を更新することにより、浮き上がり効果を含んだSSI解析を実施可能です。

従来手法とOption UPLIFTのアプローチの違い

項目	従来手法	Option UPLIFT
モデル	質点-梁-バネモデル	3次元有限要素モデル
解析手法	時刻歴の非線形解析	繰り返しの等価線形解析
浮き上がり解析手法	転倒モーメントに応じた 地盤バネの更新	転倒モーメントに応じた 地盤インピーダンスの更新
評価できる加振方向数	1方向	2方向（X, Y方向加振の影響を合算して評価可能）※

※各軸方向の線形解析結果を重ね合わせた結果を用いて等価剛性と等価減衰の計算を行っています

4. Option UPLIFT : JEAC4601-2015に準拠した基礎浮き上がり解析機能の追加

株式会社 テラバイト

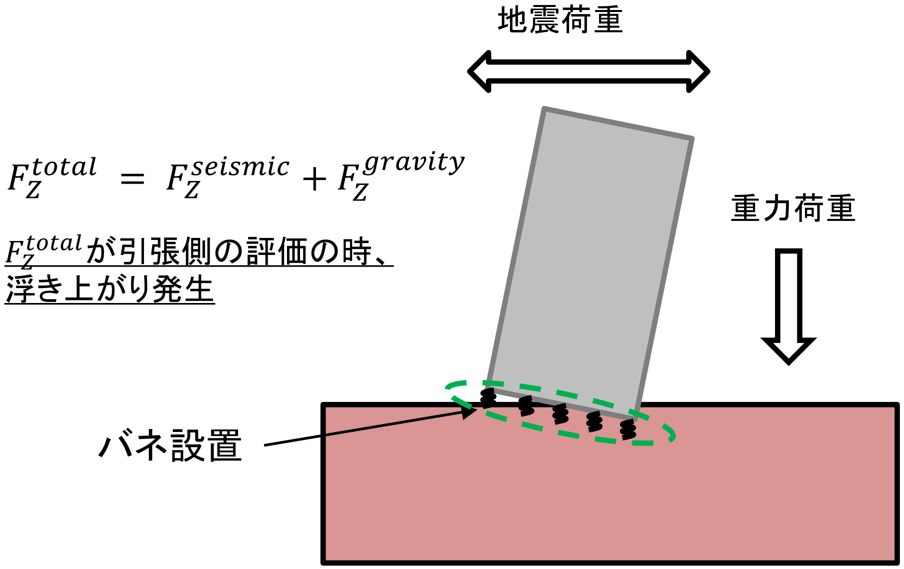
Customer Satisfaction by Computer Solution & Computer Simulation

＜浮き上がりの判定方法＞

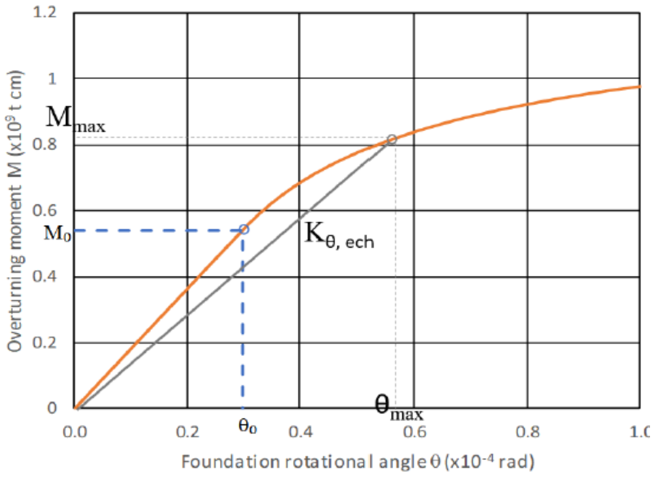
Option UPLIFTでは構造物と地盤の間をバネ要素で接続し、地震荷重を適用した時と重力荷重を適用した時のZ方向のバネ反力の和が引張であるか圧縮であるかを基準に剥離の判定をします。
バネ反力が引張の時、構造物と地盤が剥離していることを意味するので、浮き上がりが発生していると判定します。接地率はバネ反力と変位より求められる基礎のモーメントと回転角を使用して算出します。
3次元モデルの利点を生かし、水平成分2方向からの地震動の影響を考慮することも可能です。

＜地盤インピーダンスの調整による浮き上がり効果＞

バネの反力とZ方向の変位量より求めた転倒モーメントと回転角の関係から、JEAC4601-2015の推奨に従いZ方向の並進と回転の地盤インピーダンスを調整します。調整後はSSI解析を再度実施します。



浮き上がりの判定方法概要

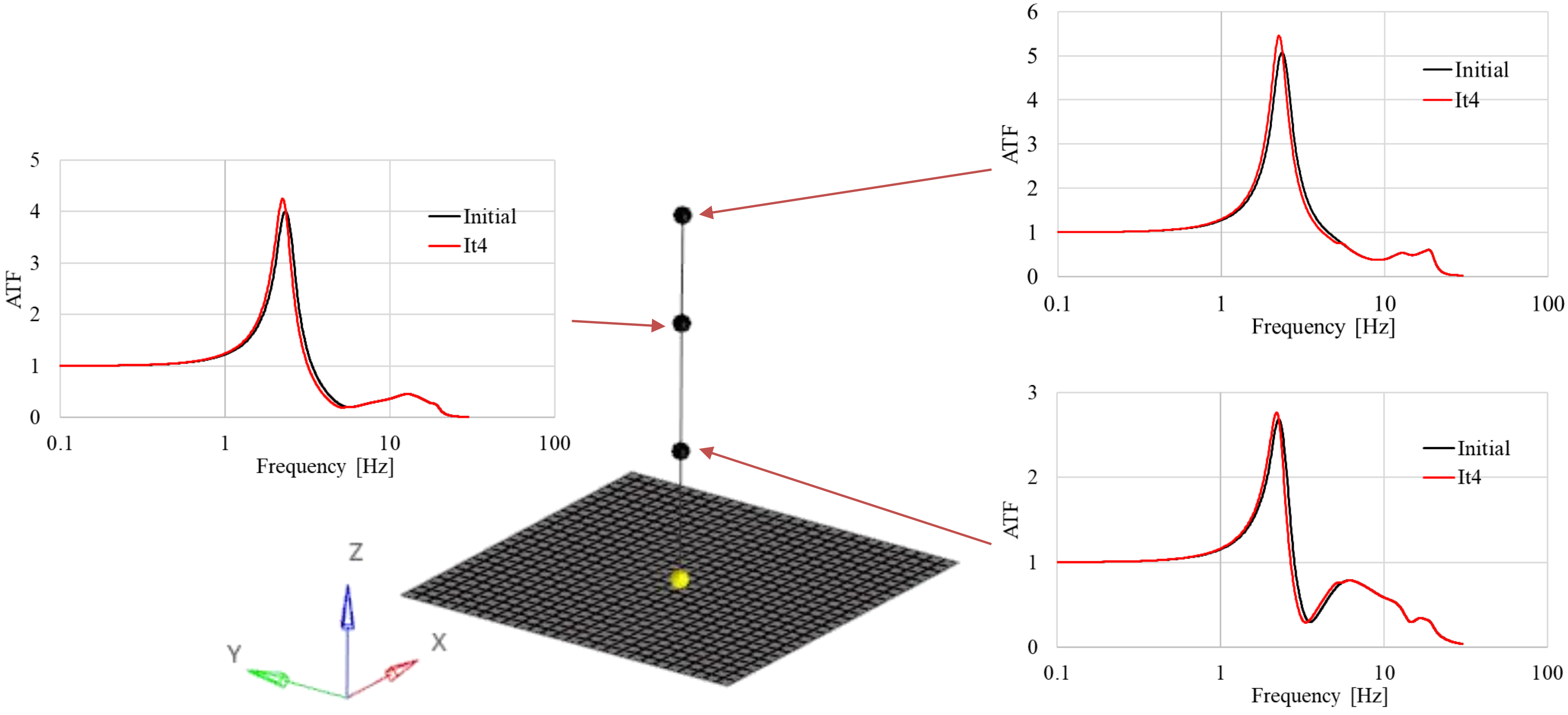


転倒モーメントと回転角の関係図

4. Option UPLIFT : JEAC4601-2015に準拠した 基礎浮き上がり解析機能の追加

＜浮き上がりを考慮したSSI解析結果＞

浮き上がり効果を含まない等価線形解析の初回計算（黒線）と浮き上がり効果を含んだ反復計算4回目（赤線）の加速度伝達関数（ATF）を比較します。
地盤インピーダンスの剛性低下のため、反復計算4回目の方がピーク周波数が低周波側にシフトし、応答が大きくなる傾向にあります。



5. Option NON Advanced：JEAC4601-2015に準拠した鉄筋コンクリート構造物に対する等価線形解析機能の追加

ACS SASSI Version 4.3よりOption NONに新しい機能が加わりました。
従来からある機能と新しく追加された機能は区別され、以下のような名称が使われます。

Option NONの従来機能	：	Option NON Simple
Option NONの新機能	：	Option NON Advanced

新機能は以下の通りです。

1. 米国規格と日本規格に基づくバックボーンカーブ（BBC）の作成機能
   - 米国規格とは、米国コンクリート学会（ACI）と米国土木学会（ASCE）より発行されている規格 ACI 318/349およびASCE 4/43を指します。
   - 日本規格とは、日本電気協会と日本建築学会（AIJ）より発行されている規格 JEAC4601-2015（日本電気技術規程）および鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説を指します。

2. せん断変形と曲げ変形を同時に考慮する機能
   - 従来のOption NONでは、せん断変形および曲げ変形による耐震壁の塑性を同時に考慮することができませんでしたが、Ver 4.3より同時に考慮する機能が追加されました。
   - 耐震壁のせん断力と曲げモーメントの関係が楕円形で表現される性質を利用して、塑性後の等価剛性を計算する手法を用いています。

3. 日本規格に対応する履歴モデルの追加
   - JEAC4601-2015で推奨されるせん断、曲げの履歴モデルが追加されました。
   - 日本規格と米国規格を組み合わせたHybridモデルが追加されました。

5. Option NON Advanced：JEAC4601-2015に準拠した鉄筋コンクリート構造物に対する等価線形解析機能の追加

Option NON のフローチャート

赤字: Option NON Advanced 専用モジュール
青字: Option NON のモジュール

Option NON Advancedのフローチャート（新機能）

- Step1. モデル作成とACS SASSIの条件設定 （UI）
- Step2. 耐震壁サブモデル作成（UI）
- Step3. 初回地震動SSI解析・自重解析（バッチ）
  Step4. Step3のポスト処理（バッチ）
- Step5. BBC計算のための断面力計算（バッチ）
  Section_Cut_for_BBC.exe
- Step6. 断面情報の確認、RCの材料設定（テキスト編集）
- Step7. BBC作成（バッチ） ***BBC_JEAC_4601_ACI_318.exe***
- Step8. フランジの材料物性の割り当て（バッチ）
  Create_Flange_Materials.exe
- Step9. 等価線形解析の入力ファイル作成（UI）
- Step10. 等価線形解析の反復計算実行（バッチ）
  COMB_Shear_Bend.exe and ***NONLINEAR.exe***
- Step11. ポスト処理実施 （バッチ）

Option NON Simpleのフローチャート（従来機能）

- Step1. モデル作成とACS SASSIの条件設定 （UI）
- Step2. 等価線形解析の入力ファイル作成（UI）
- Step3. 等価線形解析の反復計算実行（バッチ）
  NONLINEAR.exe
- Step4. ポスト処理実施 （バッチ）

Option NON Advancedの導入で追加されたモジュールと概要を以下に示します。

- **Section_Cuts_for_BBC（Step5）**
  自動で耐震壁の断面形状識別を実行し、Step3とStep4で計算した地震動SSI解析結果と自重解析結果の応力情報を基に、ユーザーが定義したパネルの断面力を計算します。

- **BBC_JEAC_4601_ACI_318（Step7）**
  米国規格または日本規格の推奨事項に基づいて、ユーザーが定義したパネル毎にせん断および曲げのBBCを計算します。作成されるBBCは下に説明するCOMB_Shear_Bendと同様にせん断と曲げを同時に考慮して算定しています。

- **Create_Flange_Materials（Step8）**
  フランジ壁に該当するパネルの分割方法をフランジ有効幅を考慮したものに変更し、材料物性の割り当てを行います。

- **COMB_Shear_Bend（Step10）**
  等価線形解析の各反復におけるSSI解析とポスト処理終了後、パネルのせん断力と曲げモーメントの相互作用効果を組み合わせた等価剛性を計算します。

詳細は、次ページ以降をご参照ください。

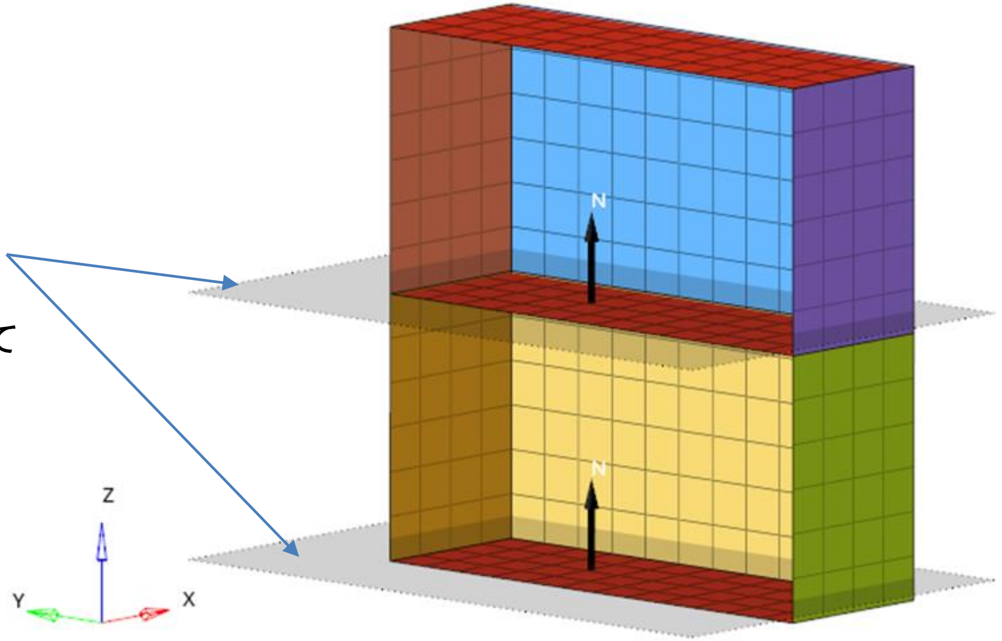
Step5: Section_Cuts_for_BBC モジュールによるサブモデルの断面カット

自動で耐震壁の断面形状識別を実行し、地震動SSI解析結果と自重解析結果の応力を基に、ユーザーが定義したパネルの断面力とサブモデルのパラメータを計算します。

このモジュールでは以下のパラメータを計算します。

1. カット断面における軸力、せん断力、曲げモーメント
2. ウェブ壁およびフランジ壁の板厚
3. サブモデルのフランジ壁の長さ
4. フランジ板厚を考慮したウェブ壁の長さ
5. ACI318もしくは日本建築学会の規格に従ったフランジ有効幅
6. 各階のウェブ壁の高さ

※カットプレーンはACS SASSIの可視化機能ではなく、Altair HyperWorksにて、LS-DYNAの*DATABASE_CROSS_SECTIONの設定を使用して表示しています。



断面カットの例

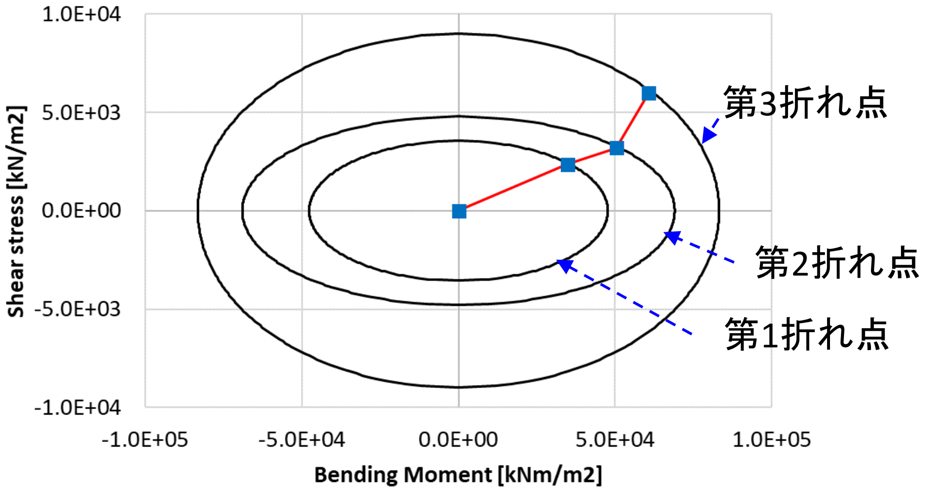
Step7: BBC_JEAC_4601_ACI_318モジュールによるBBCの作成

サブモデルの断面カット情報と鉄筋コンクリートの物性等の情報より、BBCを作成します。
BBCはせん断と曲げが楕円の関係にあることを考慮して作成されます（左下図）。

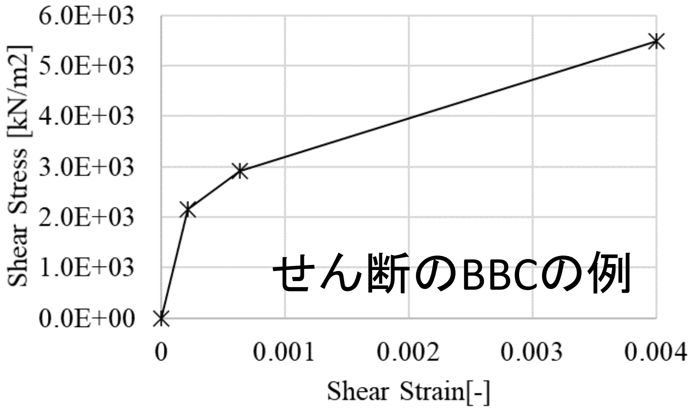
せん断力（V）と曲げモーメント（M）の関係式：

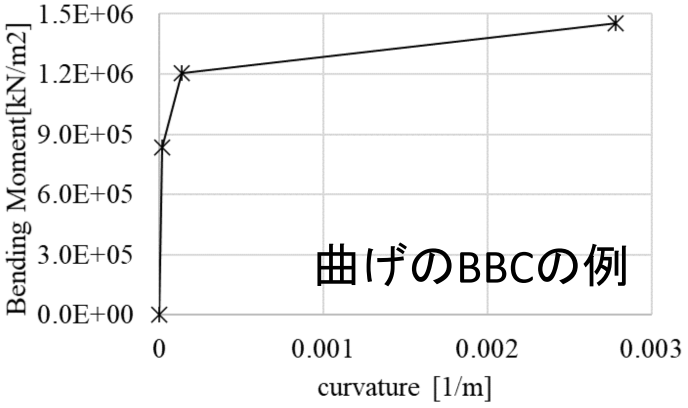
$$\left(\frac{V}{V_i}\right)^2 + \left(\frac{M}{M_i}\right)^2 = 1$$

V_i, M_i : 第i折れ点でのせん断力およびモーメント



せん断と曲げの関係図



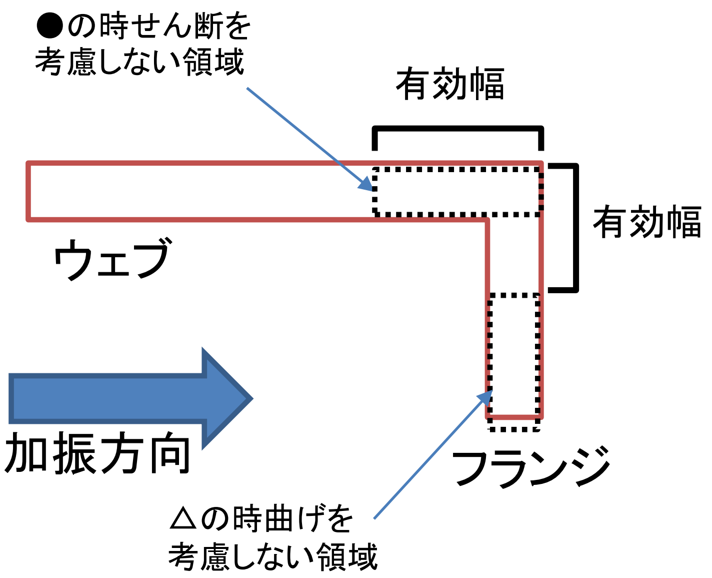


5. Option NON Advanced：JEAC4601-2015に準拠した鉄筋コンクリート構造物に対する等価線形解析機能の追加

Step8: Create_Flange_Materialsモジュールでフランジ壁のパネル分割を調整して材料物性を割り当てる

フランジ壁に該当するパネルの分割方法をフランジ有効幅を考慮したものに調整し、材料物性の割り当てを行います。現バージョンでは4種類の割り当て方法がサポートされています。

下表は各ケースの分類を表しており、加振方向に平行なウェブ壁および垂直なフランジ壁に対してせん断と曲げによる塑性を考慮するかどうかで分割方法を分類をしています。



	ウェブ せん断	ウェブ 曲げ	フランジ せん断	フランジ 曲げ
Case1	○	○	×	×
Case2	●	△	×	△
Case3	●	×	×	△
Case4	○	×	×	△

○：壁全体でせん断/曲げの非線形を考慮
●：せん断の非線形を考慮するか選択可能
△：フランジ有効幅に対して曲げの非線形を考慮
×：せん断/曲げの非線形を考慮しない

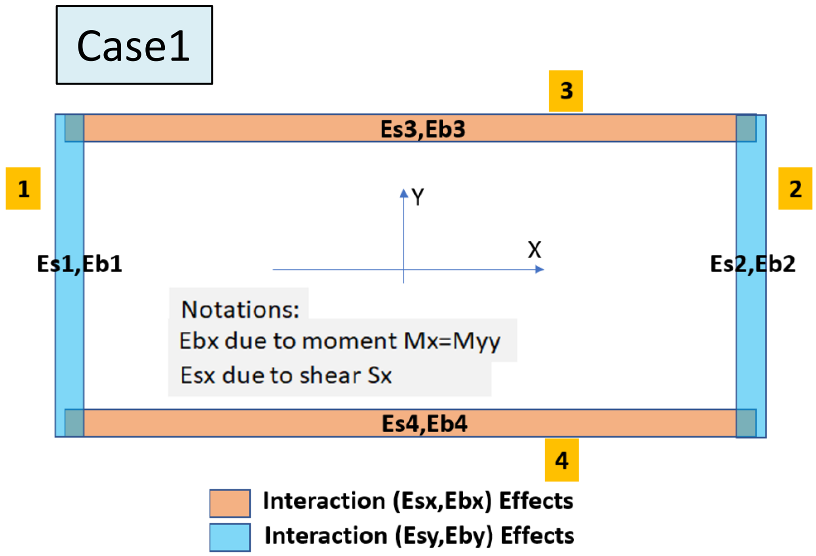
株式会社 テラバイト

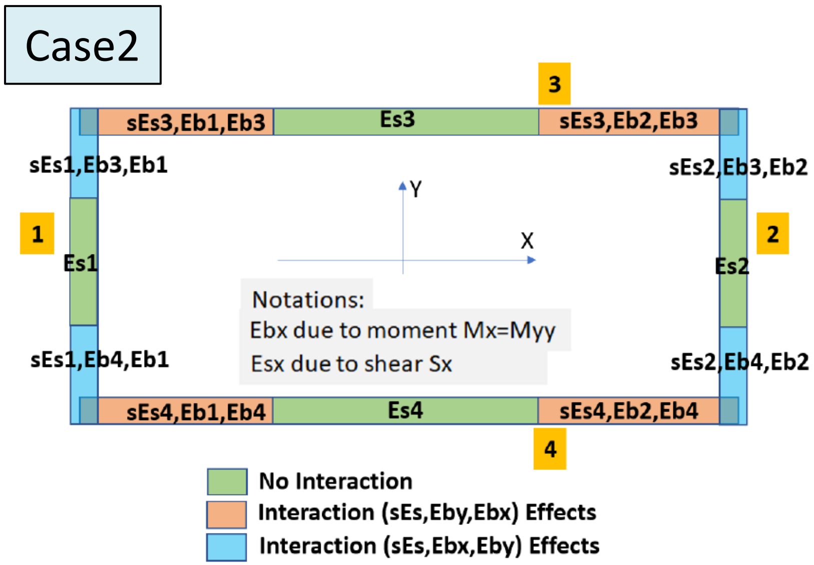
Case1とCase2の図

- Es#：番号#の壁のせん断変形によって低減された剛性
- Eb#：番号#の壁の曲げ変形によって低減された剛性
- sEs#：番号#の壁のせん断変形によって低減された剛性。ただし先頭のs=0, 1を選択可能のため、剛性低下を考慮しないことも可能

	ウェブせん断	ウェブ曲げ	フランジせん断	フランジ曲げ
Case1	○	○	×	×
Case2	●	△	×	△
Case3	●	×	×	△
Case4	○	×	×	△

○：壁全体でせん断/曲げの非線形を考慮
●：せん断の非線形を考慮するか選択可能
△：フランジ有効幅に対して曲げの非線形を考慮
×：せん断/曲げの非線形を考慮しない





5. Option NON Advanced：JEAC4601-2015に準拠した鉄筋コンクリート構造物に対する等価線形解析機能の追加

株式会社 テラバイト

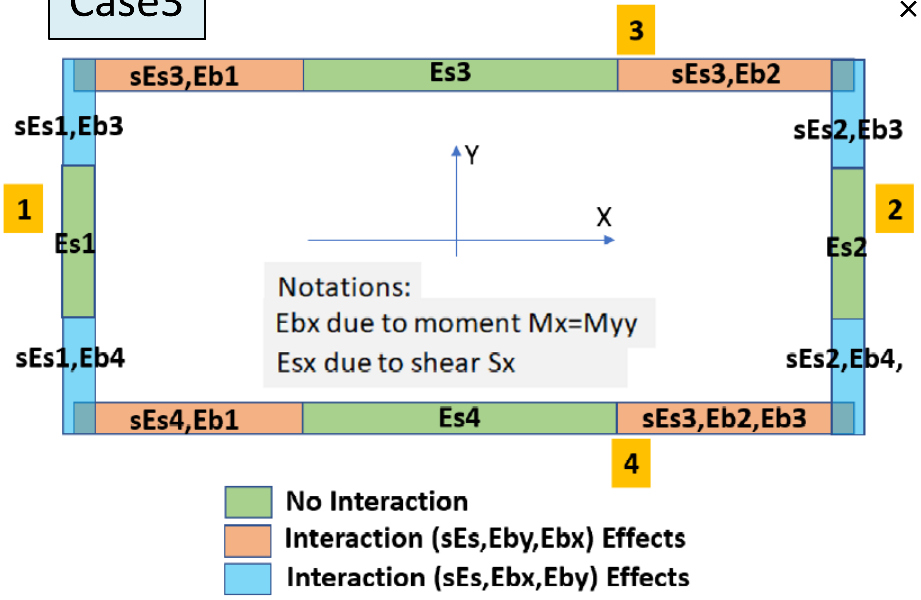
Case3とCase4の図

- Es#：番号#の壁のせん断変形によって低減された剛性
- Eb#：番号#の壁の曲げ変形によって低減された剛性
- sEs#：番号#の壁のせん断変形によって低減された剛性。ただし先頭のs=0, 1を選択可能のため、剛性低下を考慮しないことも可能

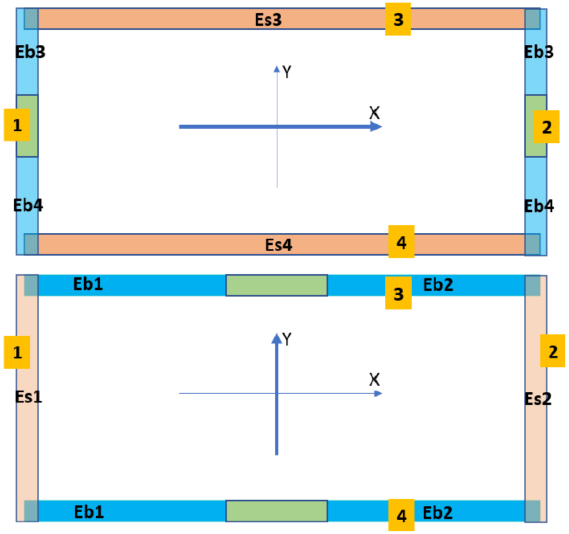
	ウェブ せん断	ウェブ 曲げ	フランジ せん断	フランジ 曲げ
Case1	○	○	×	×
Case2	●	△	×	△
Case3	●	×	×	△
Case4	○	×	×	△

○：壁全体でせん断/曲げの非線形を考慮
●：せん断の非線形を考慮するか選択可能
△：フランジ有効幅に対して曲げの非線形を考慮
×：せん断/曲げの非線形を考慮しない

Case3



Case4



Step10: COMB_Shear_Bendモジュールでせん断と曲げを同時に考慮する手法

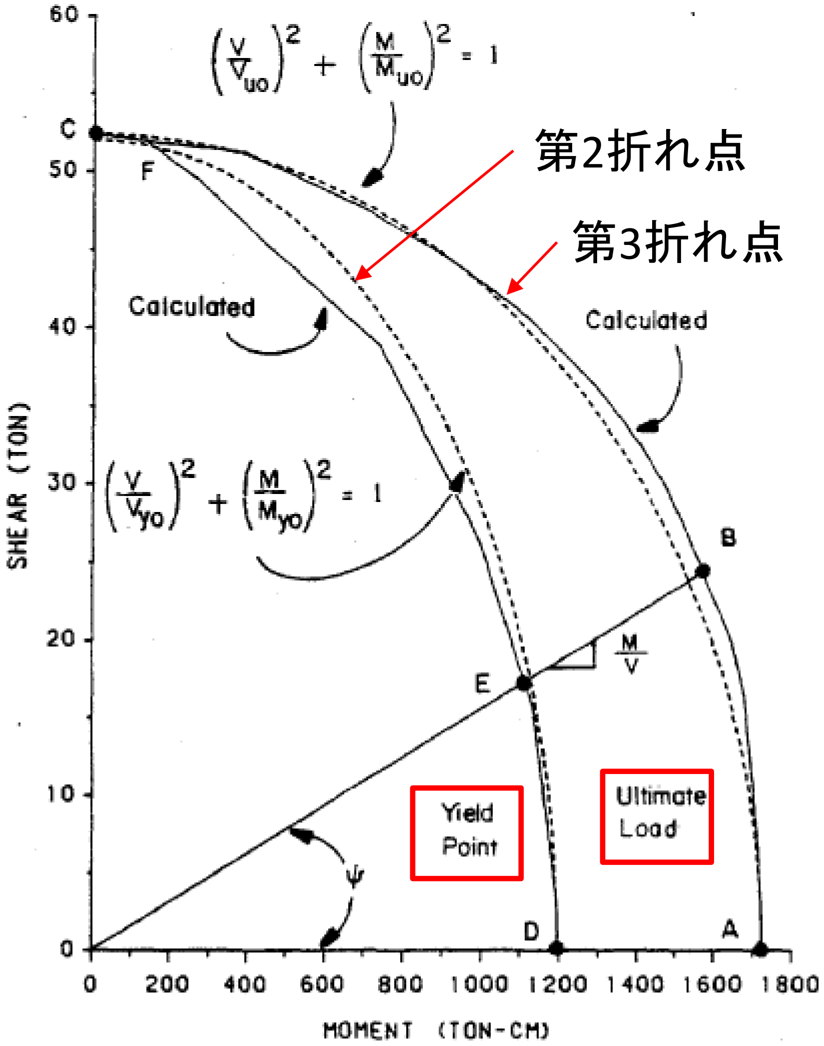
楕円の関係を用いたせん断と曲げの同時考慮

降伏点及び終局荷重に対するせん断力と曲げモーメントの関係を各々の値を変数とする楕円として表します。参考文献[*1]では、

第2折れ点での実験との誤差は約9%
第3折れ点での実験との誤差は約3%

と結論付けており、高い精度でモデル化ができていることがわかります。

ACS SASSIではせん断と曲げが楕円の関係であることを用いて、せん断変形と曲げ変形から評価した等価剛性に変換しています。



図は参考文献[*1]のFigure. 41より

*1 Cheng and Mertz 1989 INELASTIC SEISMIC RESPONSE OF REINFORCED-CONCRETE LOW-RISE SHEAR WALLS AND BUILDING STRUCTURES

株式会社テラバイト
東京都文京区湯島3-10-7　NOVビル
TEL：03-5818-6888　FAX：03-5818-6889
https://www.terrabyte.co.jp

※許可なくコピーすることを禁止致します。