



応用要素法 (Applied Element Method, AEM)

一連続体から非連続体までの挙動を高精度に追跡する次世代型構造解析手法

AEM: Universally efficient numerical method for analyzing complete structural behavior from no loading condition till the complete collapse, with reliable accuracy.



なぜ崩壊過程までを考えなくてはならないのか？」

兵庫県南部地震では、関連死を除く約5,500人の犠牲者の80%を超える人々が構造物の被害によって亡くなった。その犠牲者の多くは、局所的な破壊ではなく、原型を留めないほどの破壊(崩壊)によるものである。これらの犠牲者を救うには、少なくとも崩壊しない構造物を造る必要があり、そのためには、崩壊という現象の十分な理解が必要である。

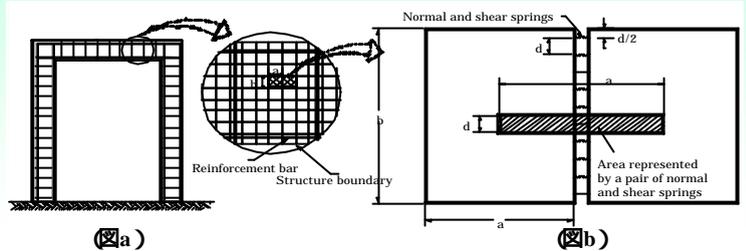
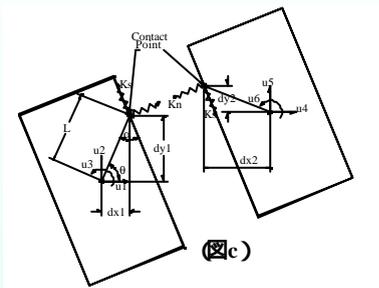
応用要素法 (AEM) は、崩壊に至るまでの破壊現象を、高い精度で、統一的に、しかも簡単なモデルで解析すること」を目標に、目黒研究室で開発を進めている新しい構造解析手法である。

応用要素法 (AEM) の概要

要素の定式化

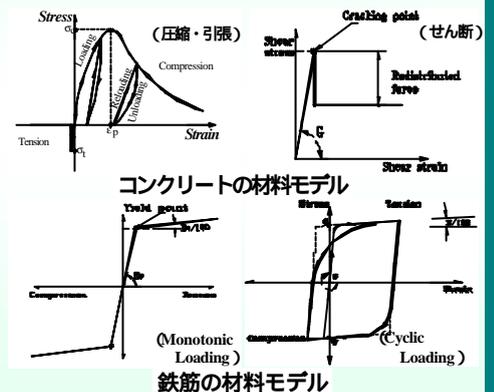
AEMでは、解析対象を仮想的に分割した要素の集合体と考える(図a)。要素同士は、接線方向とせん断方向を1組とする複数のバネによって連結されていると仮定する(図b)。

(図c)に示すように、ある1点に設置された法線接線方向のバネで2つの要素が結ばれていると仮定する。剛性マトリクスの要素は、各要素の重心とバネ設置点との位置関係及びバネ係数により決定され、(6×6)の局所剛性マトリクスとなる。(式1)は局所剛性マトリクスの左上4分の1を表している。



材料モデル

ここでは、異なった2種類の複合材料である鉄筋コンクリート(RC)のモデル化を紹介する。AEMでは、鉄筋は鉄筋として、コンクリートはコンクリートとして、それぞれ独立にモデル化する。よって、任意の鉄筋比の鉄筋コンクリートが、鉄筋バネを鉄筋の位置に配置することでモデル化される。より精度の良い材料モデルが開発されればそれを導入する。

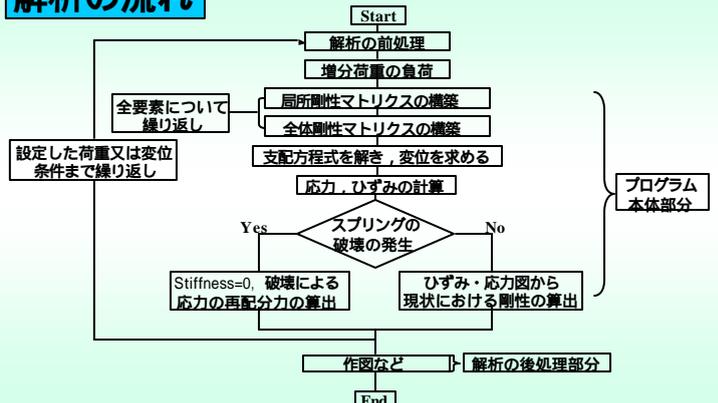


$$\begin{bmatrix} \sin^2(q+a)Kn & -Kn\sin(q+a)\cos(q+a) & \cos(q+a)KsL\sin(a) \\ +\cos^2(q+a)Ks & +Ks\sin(q+a)\cos(q+a) & -\sin(q+a)KnL\cos(a) \\ -Kn\sin(q+a)\cos(q+a) & \sin^2(q+a)Ks & \cos(q+a)KnL\cos(a) \\ +Ks\sin(q+a)\cos(q+a) & +\cos^2(q+a)Kn & +\sin(q+a)KsL\sin(a) \\ \cos(q+a)KsL\sin(a) & \cos(q+a)KnL\cos(a) & L^2\cos^2(q+a)Kn \\ -\sin(q+a)KnL\cos(a) & +\sin(q+a)KsL\sin(a) & +L^2\sin^2(q+a)Ks \end{bmatrix} \quad (式1)$$

全体剛性マトリクスは、求めた局所剛性マトリクスを全て足し合わせて求める。支配方程式は全体剛性マトリクス $[K_G]$ 、変位ベクトル $[\Delta]$ 、荷重のベクトル $[F]$ を用いると(式2)のようになる。

$$[K_G][\Delta] = [F] \quad (式2)$$

解析の流れ





応用要素法 (Applied Element Method, AEM)

一連続体から非連続体までの挙動を高精度に追跡する次世代型構造解析手法

AEM: Universally efficient numerical method for analyzing complete structural behavior from no loading condition till the complete collapse, with reliable accuracy.



応用要素法が解析対象とする現象の範囲

- 慣性力の影響 (static,dynamic)
- 荷重の載荷方向 (monotonic,cyclic)
- 幾何学的変形の影響 (geometrical non-linearity)
- 材料特性の非線形特性 (material non-linearity)
- などの観点から分類

| Geometry | Material | Static | | Dynamic | |
|-------------------------------|-----------|---------------------|--------|-----------|--------|
| | | Monotonic | Cyclic | Monotonic | Cyclic |
| Small deformation (linear) | Elastic | | | | |
| | Nonlinear | | | | |
| Large deformation (nonlinear) | Elastic | | | | |
| | Nonlinear | Covered in dynamics | | | |
| Collapse process | | No meaning | | | |

(* 図中の番号 ~ は以下の解析例番号に対応)

: 弾性体 (線形材料) から構成される構造物が静的な一方向を受ける場合の微小変形領域での挙動 .

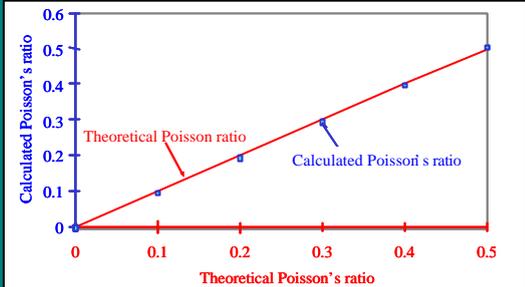
シリンダー1軸圧縮試験のポアソン比を考慮したAEM解析



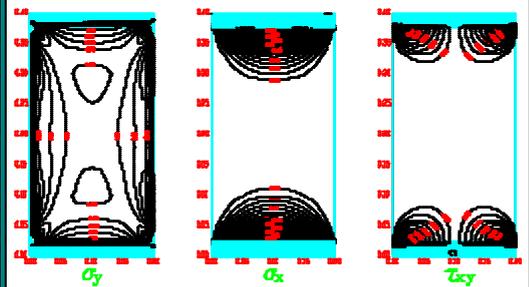
(1) 載荷板との摩擦拘束なし

(2) 載荷板との摩擦拘束あり

ポアソン比の変化 ($\nu=0.0 \sim 0.5$) による供試体変形の違い (倍率50倍)



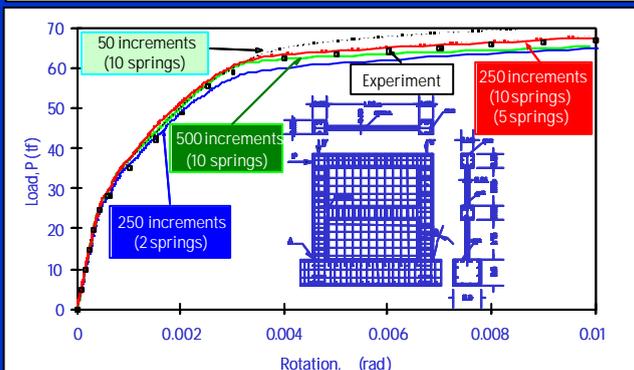
AEM解析結果によるポアソン比と理論値との比較



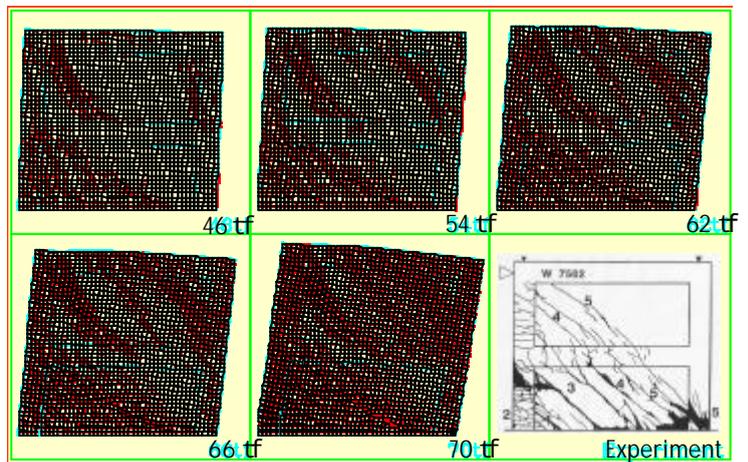
変形後の供試体内部の応力コンター (摩擦あり, $\nu=0.5$ の場合)

: 非線形材料から構成される構造物が静的な一方向載荷を受ける場合の微小変形領域での挙動 .

2層RC構造の単調載荷実験のAEM解析



2層RC構造の破壊解析 (実験との比較)



載荷途中におけるクラックの進展状況

進行性破壊現象を追いかけることが可能
(クラックの発生位置と進行方向に関する仮定は不要)



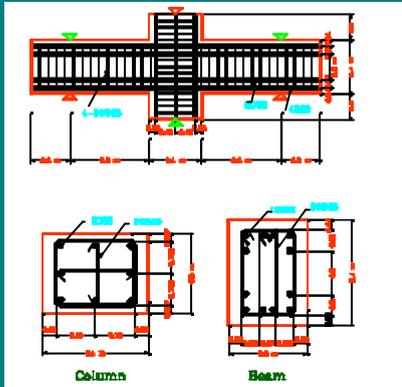
応用要素法 (Applied Element Method, AEM)



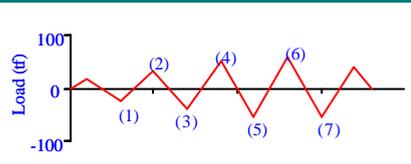
一連続体から非連続体までの挙動を高精度に追跡する次世代型構造解析手法一

AEM: Universally efficient numerical method for analyzing complete structural behavior from no loading condition till the complete collapse, with reliable accuracy.

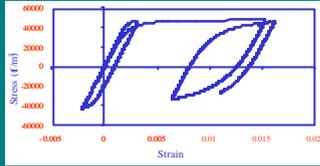
：非線形材料から構成される構造物が静的交番載荷を受ける場合の微小変形領域での挙動。



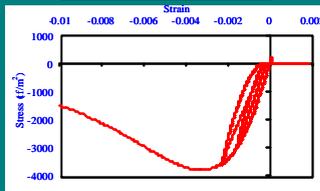
RC構造物の柱・梁接合部の交番載荷実験の供試体



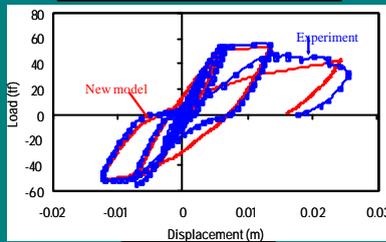
交番載荷実験に用いた荷重履歴



A点の鉄筋の応力状態

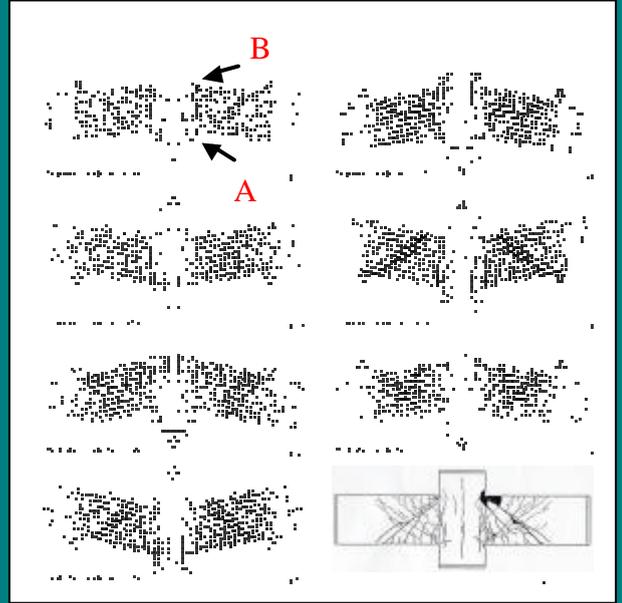


B点のコンクリートの応力状態



荷重 - 変位関係

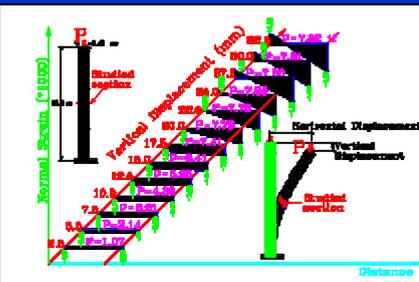
RC構造物の柱・梁接合部の交番載荷実験のAEM解析



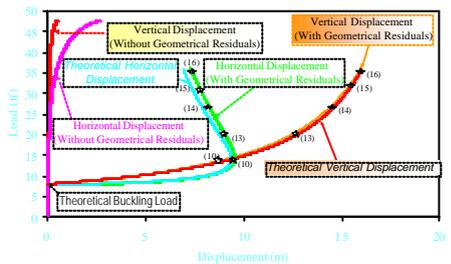
解析におけるクラックの進展と実験結果

：弾性材料から構成される構造物が静的な荷重（一方向または交番載荷）を受ける場合の大変形領域に至るまでの挙動。

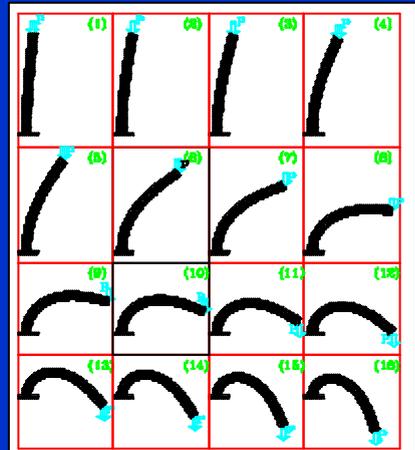
弾性材料の幾何学的非線形挙動 (座屈現象) の解析



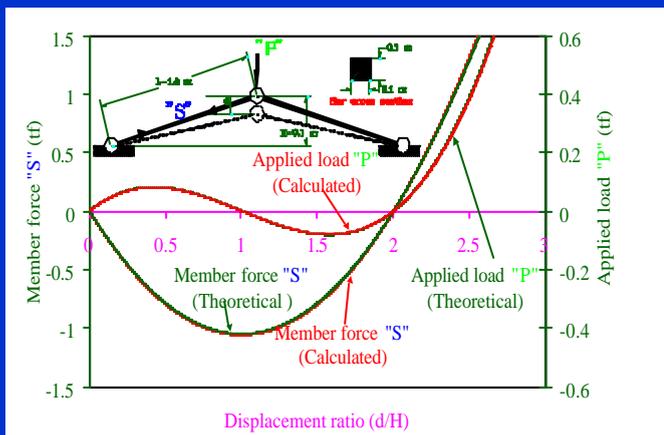
載荷荷重の増加に伴って生じる偏心荷重



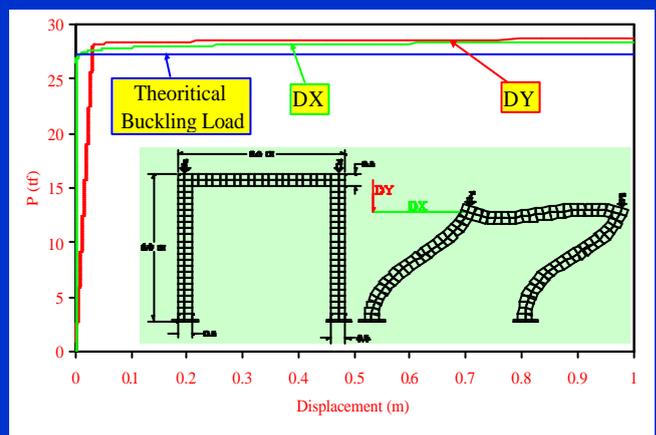
AEM解析と理論解との比較



AEM解析による変位の進展



スナップスルーバックリングのAEM解析



両端剛結ラーメン構造のバックリング挙動のAEM解析



応用要素法 (Applied Element Method, AEM)

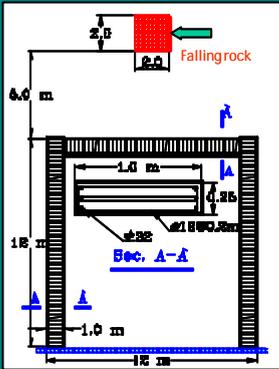


一連続体から非連続体までの挙動を高精度に追跡する次世代型構造解析手法一

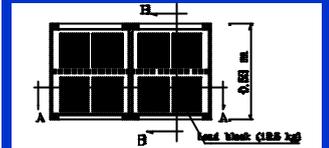
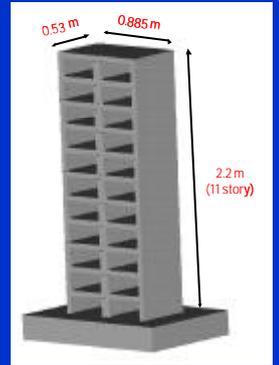
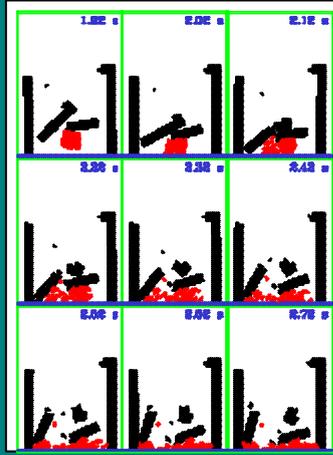
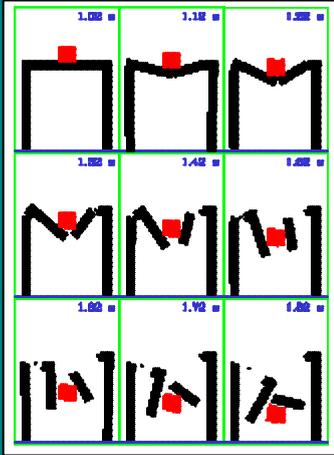
AEM: Universally efficient numerical method for analyzing complete structural behavior from no loading condition till the complete collapse, with reliable accuracy.

：線形又は非線形材料で構成される構造物が動的
一方向荷重を受ける大変形領域までの挙動。

衝撃荷重を受ける
構造物の崩壊挙動

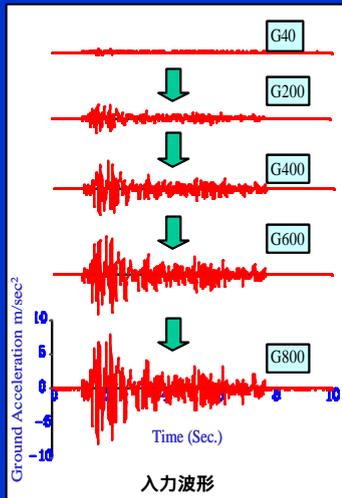


解析に用いたRC骨組構造物モデル



振動台実験に用いた1/15スケールのRCビルモデル

：線形又は非線形材料で構成される構造物が動的交番荷重を受ける際の大変形領域に至るまでの挙動。

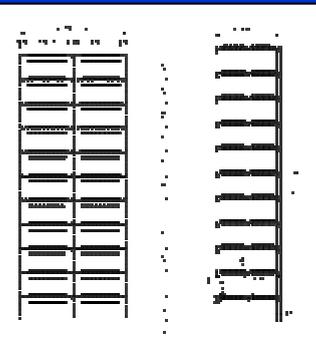
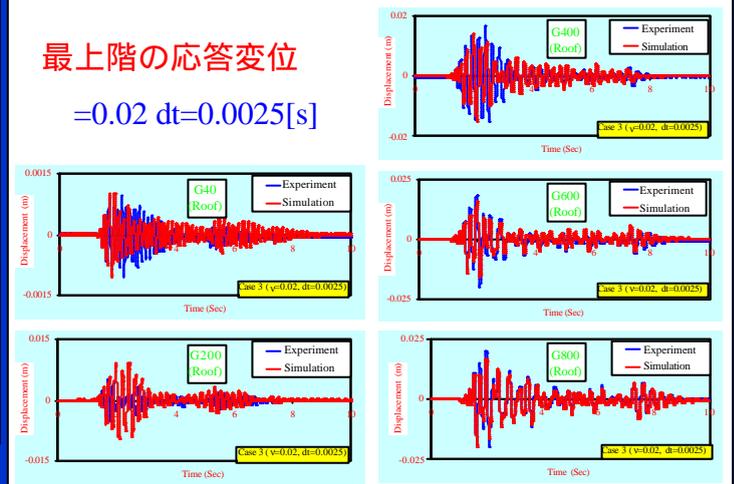


入力波形

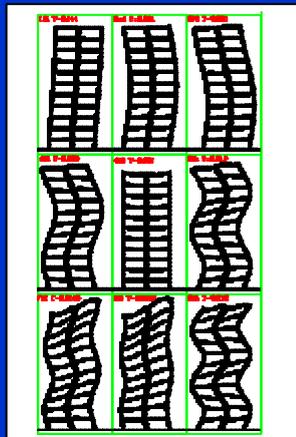
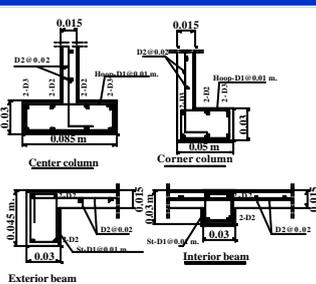
RCビル模型の振動台実験の解析

最上階の応答変位

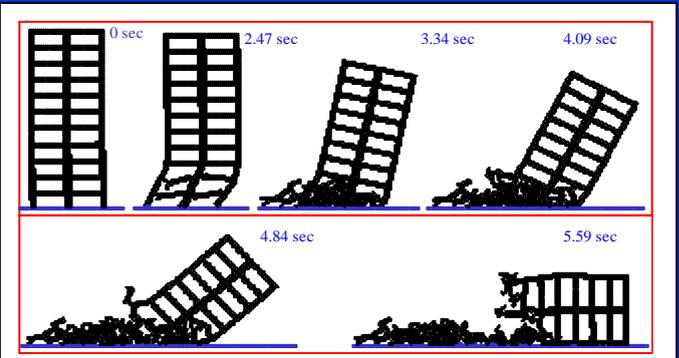
$$= 0.02 \text{ dt} = 0.0025 [\text{s}]$$



振動台実験に用いた1/15スケールのRCビルモデル



AEMによる固有値解析



極端に強い地震動を入力して行ったRC構造物の崩壊過程のAEM解析

完全崩壊に至るまでの挙動が再現可能

各現象を高精度にシミュレーションすることが可能