

## Abaqus Tips : 質量放大 Mass Scaling 設定

Abaqus/Explicit 的優勢是分析接觸、碰撞等高度非線性問題，或是當 Abaqus/Standard 難以收斂時，利用 Explicit 將問題以擬靜態方式模擬就沒有收斂問題。然而，為了得到穩定、可靠的結果，Explicit 求解時使用非常小的時間增量，進而產生龐大的計算成本。因此，提高加載速率(Loading Rate)與質量放大(Mass Scaling)經常用來提升計算效率。不過當材料需要考慮應變率時，提高加載速率的方法將不適用，使用者可以使用質量放大來提高運算速度。

Abaqus/Explicit 將求解過程視為波傳問題，穩定時間增量的計算如下面公式，其與元素特徵長度及疏密波波速有關，其中疏密波波速又和楊氏係數與密度有關。質量放大的原理就是調整部分元素的密度，藉由放大時間增量來提升計算效率。

$$\text{Stable time increment } \Delta t = \frac{L^e}{c_d}$$

$$c_d = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

設定質量放大前，先檢核當前模型的穩定時間增量，當作後續調整的依據。建立完 Job 之後，無論直接提交(Submit)分析或是執行 Data Check，系統都會將穩定時間增量的資訊寫入(.sta)檔內，如圖一所示，使用者可以從(.sta)檔中找到初始時間增量以及前十個控制時間增量的元素。

```
-----
STABLE TIME INCREMENT INFORMATION
-----

The stable time increment estimate for each element is based on
linearization about the initial state.

Initial time increment = 7.25164E-07

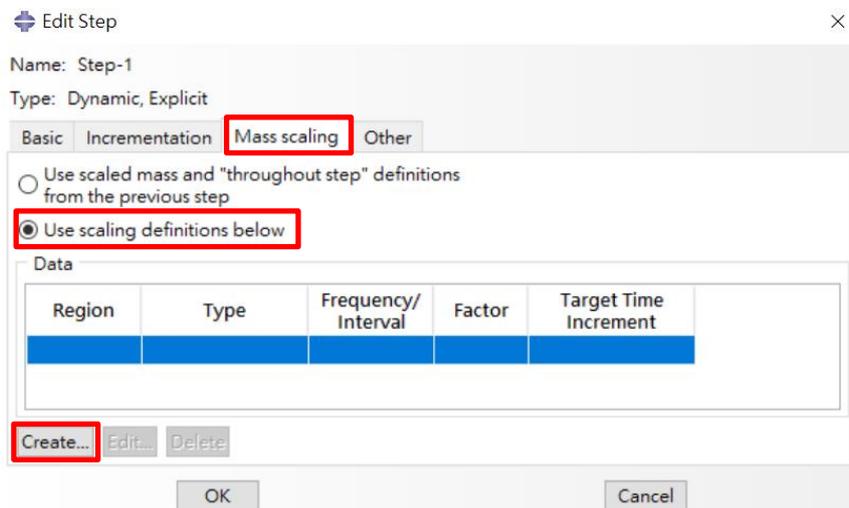
Statistics for all elements:
  Mean = 1.03396E-06
  Standard deviation = 1.20389E-07

Most critical elements:
-----
Element number  Rank  Time increment  Increment ratio
(Instance name)
-----
      6897         1    7.251640E-07    1.000000E+00
PART-1-1
      273         2    7.251692E-07    9.999928E-01
PART-1-1
      549         3    7.251692E-07    9.999928E-01
PART-1-1
      733         4    7.251692E-07    9.999928E-01
PART-1-1
      1285        5    7.251692E-07    9.999928E-01
PART-1-1
      1469        6    7.251692E-07    9.999928E-01
-----
```

圖一、查看當前模型的穩定時間增量

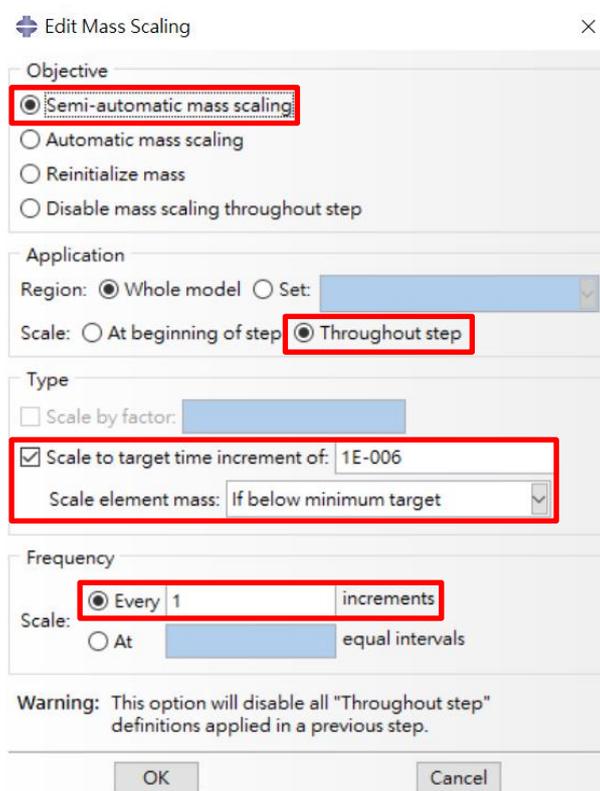
# 士盟科技股份有限公司

如圖二所示，建立 Dynamic, Explicit 分析步時，進入 Mass Scaling 的頁籤，勾選 Use Scaling Definitions Below 選項後，點選 Create 設定質量放大。



圖二、Mass scaling 頁籤

圖三顯示設定質量放大的相關參數，下頁將說明各參數之意義。



圖三、質量放大相關參數

# 士盟科技股份有限公司

---

## Objective :

- (1) **Semi-Automatic Mass Scaling** : 預設之質量放大選項。
- (2) **Automatic Mass Scaling** : 自動質量放大，請參考 Documentation。
- (3) **Reinitialize Mass** : 還原前一個分析步所放大的質量。
- (4) **Disable Mass Scaling Through Step** : 停止前一個分析步所設定的質量放大，否則將沿用前一個分析步之質量放大設定。

## Application :

- (1) **Region** : 質量放大的區域，預設是 **Whole Model**，也可以對特定集合放大質量。
- (2) **Scale** : 質量放大的歷程，At beginning of step 在分析前做一次質量放大設定，過程不再調整。**Through Step** 將於分析過程中更新，針對更新後的元素資料調整。

## Type :

- (1) **Scale by Factor** : 依固定比例放大。
- (2) **Scale to Target Time Increment** : 目標時間增量，可以參考圖一 Data check 後的結果設定，其初始時間增量是  $7.25164 \times 10^{-7}$ ，目標值將大於原本的初始時間增量，藉由放大時間增量來減少計算時間，但是過量的調整會造成分析結果不準確，評估準則將在下頁說明。

## Scale element mass :

- (i) **Uniformly to Satisfy Target** : 等比例調整所有元素之時間增量並讓最小值等於目標值增量。
- (ii) **If Below Minimum Target** : 僅調整小於目標值的部分元素。
- (iii) **Nonuniformly to Equal target** : 所有元素的時間增量都變為目標值。

## Frequency :

- (1) **Every n Increments** : 每 n 個增量進行一次調整，預設值為 1，代表每個增量後都會調整。
- (2) **At n Equal Intervals** : 將整個分析時間等切割為數個區間，計算到分隔段時進行調整，例如 n=5 且分析時間 period=1 時，會在 t=0.2, 0.4, 0.6, 0.8 時進行調整。

# 士盟科技股份有限公司

設定完質量放大後，必須檢查質量增加比例(Percentage Change in Mass)。同前面檢查穩定時間增量步驟，由 Submit 或是 Data Check 將質量增加比例資訊寫入(.sta)檔內，如圖四所示，注意**動態問題的質量增加比例不應超過 5%**，避免過度放大導致結果不準確。

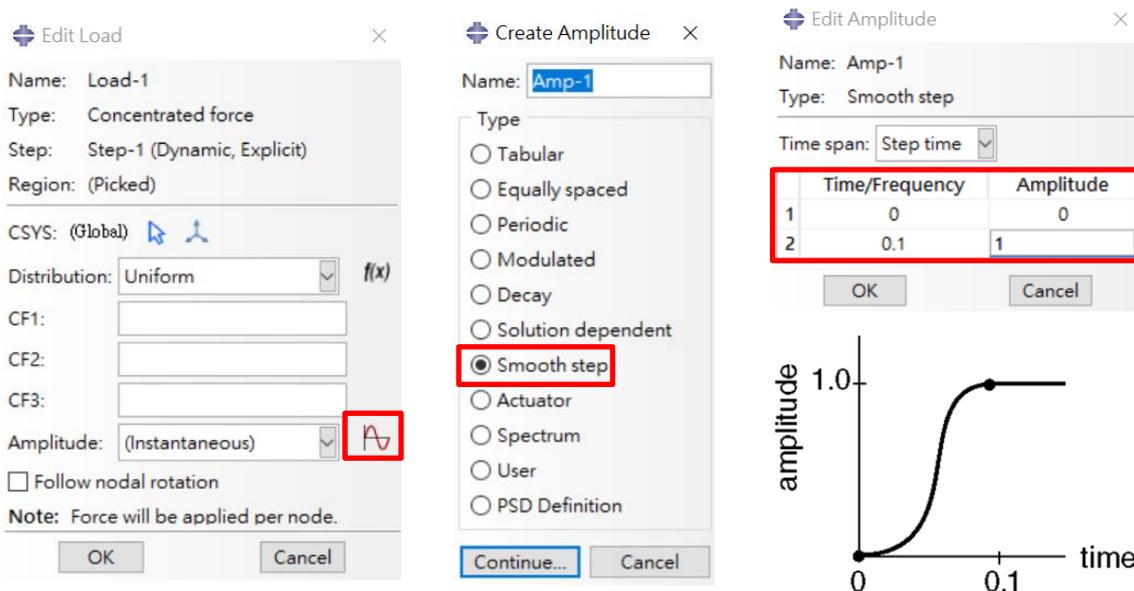
```
STEP 1 ORIGIN 0.0000

Total memory used for step 1 is approximately 35.2 megabytes.
Element by element stable time estimation algorithm will be used.
Scaling factor: 1.0000
Variable mass scaling factor at zero increment: 1.0000
```

INCREMENT	STEP TIME	TOTAL TIME	CPU TIME	STABLE INCREMENT	CRITICAL ELEMENT	KINETIC ENERGY	TOTAL ENERGY	PERCENT CHNG MASS
0	0.000E+00	0.000E+00	00:00:00	1.000E-06	10	5.467E+02	5.467E+02	3.018E+00

圖四、檢查質量增加比例

用顯式求解器做**擬靜態分析**，Step Time 通常介於 0.01 至 1 秒以降低動態效應，因此計算成本很高，可藉由質量放大來縮短計算時間。根據士盟的經驗，能夠放大到原始質量之 5000%至 10000%(使用者可根據不同產業再微調標準)，但靜態問題沒有慣性力  $F=ma$  項，必須確保**動能與內能比例小於 5%**。若前述條件不滿足，可依據動能與位能比例調整 Step Time，才符合擬靜態分析的標準，且同時兼顧計算效率與準確度。此外，擬靜態分析在加載邊界條件時，須採用 Smooth Step(平滑加載)，以提高結果之準確性，如圖五所示。



圖五、設定平滑加載曲線

備註：動態問題在檢查初始質量增加比例時，應把模型中的剛體移除。而擬靜態分析在檢核動能與內能之比例時，可以在 History Output 新增一組剛體動能之輸出，在後處理時將剛體之動能扣除。

文、應用工程師 鄭鈞 (Adam)