



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I516968 B

(45)公告日：中華民國 105 (2016) 年 01 月 11 日

(21)申請案號：102146086

(22)申請日：中華民國 102 (2013) 年 12 月 13 日

(51)Int. Cl. : G06F17/50 (2006.01)

G06F17/27 (2006.01)

G01M7/00 (2006.01)

(30)優先權：2013/05/10 日本

2013-100418

(71)申請人：新日鐵住金股份有限公司 (日本) NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION (JP)

日本

(72)發明人：廣瀨智史 HIROSE, SATOSHI (JP)；丹羽俊之 NIWA, TOSHIYUKI (JP)；常見祐介 TSUNEMI, YUSUKE (JP)

(74)代理人：惲軼群；陳文郎

(56)參考文獻：

TW 535077

CN 102062743B

US 2008/0312882A1

Na Liu, Xiaoyan Li, Yongchang Yan; "Investigation on Fatigue-Creep Interaction Damage Model for Solder"; ICEPT-HDT 2008。

審查人員：林琮烈

申請專利範圍項數：6 項 圖式數：8 共 40 頁

(54)名稱

變形解析裝置、變形解析方法及程式

(57)摘要

本發明之變形解析裝置包含有：記憶部，可記憶材料之解析資料；狀態變數算出部，可基於解析資料而算出材料之變形之各時刻之前述材料之各組成部分之應力及其它狀態變數；破裂判定部，可基於已算出之狀態變數並依據已預先對前述材料求得之破裂極限應力線，而判定材料之各組成部分中是否已發生破裂；應力修正部，可就材料之各組成部分中已判定為已發生前述破裂之組成部分，不除去前述組成部分，而下式而減少 σ ，藉此降低前述組成部分之剛性，並更新解析資料，在下述中將 σ 設為已考量剛性降低之應力，將 D 設為連體損傷力學之損傷變數(但 $0 \leq D \leq 1$)及將 σ' 設為未考量剛性降低之應力，並。

$$\sigma = (1-D)\sigma'$$

指定代表圖：

符號簡單說明：

- 1 . . . 解析裝置
- 11 . . . 通訊部
- 12 . . . 記憶部
- 13 . . . 操作部
- 14 . . . 顯示部
- 15 . . . 處理部
- 151 . . . 控制部
- 152 . . . 狀態變數算出部
- 153 . . . 破裂判定部
- 154 . . . 應力修正部

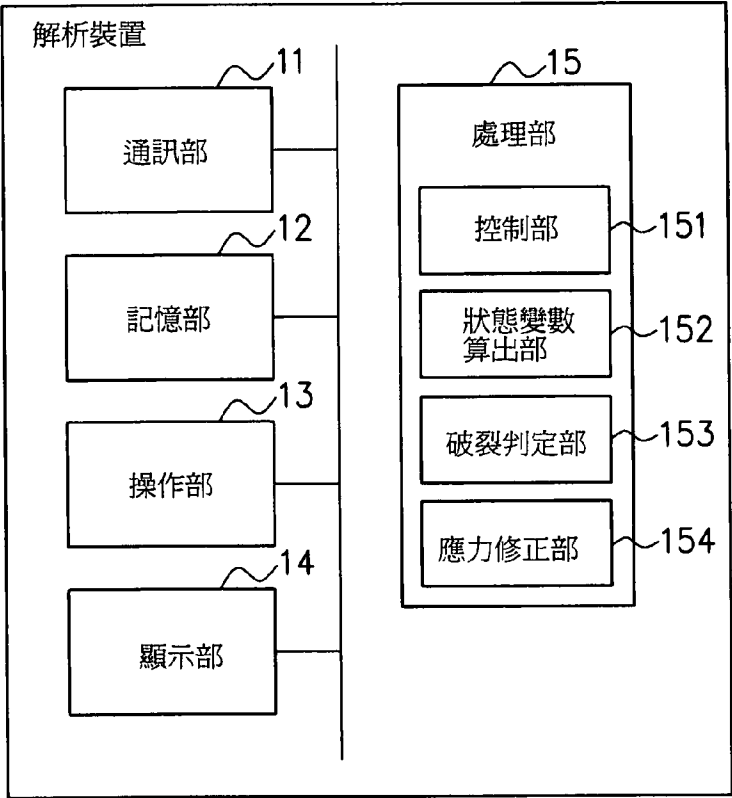


圖 2



發明摘要

※ 申請案號：102/46086

※ 申請日：102.12.13

※ IPC 分類：G06F 17/50 (2006.01)

17/27 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

G01M 7/00 (2006.01)

變形解析裝置、變形解析方法及程式

【中文】

本發明之變形解析裝置包含有：記憶部，可記憶材料之解析資料；狀態變數算出部，可基於解析資料而算出材料之變形之各時刻之前述材料之各組成部分之應力及其它狀態變數；破裂判定部，可基於已算出之狀態變數並依據已預先對前述材料求得之破裂極限應力線，而判定材料之各組成部分中是否已發生破裂；應力修正部，可就材料之各組成部分中已判定為已發生前述破裂之組成部分，不除去前述組成部分，而下式而減少 σ ，藉此降低前述組成部分之剛性，並更新解析資料，在下述中將 σ 設為已考量剛性降低之應力，將 D 設為連體損傷力學之損傷變數(但 $0 \leq D \leq 1$) 及將 σ' 設為未考量剛性降低之應力，並。

$$\sigma = (1-D) \sigma'$$

【英文】

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 2 ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

- | | |
|--------|-------------|
| 1…解析裝置 | 15…處理部 |
| 11…通訊部 | 151…控制部 |
| 12…記憶部 | 152…狀態變數算出部 |
| 13…操作部 | 153…破裂判定部 |
| 14…顯示部 | 154…應力修正部 |

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

變形解析裝置、變形解析方法及程式

【技術領域】

技術領域

[0001]本發明有關於一種變形解析裝置、變形解析方法及程式。

【先前技術】

背景技術

[0002]已知材料之變形諸如板材之壓製成形時，成形條件若不適當，將發生成形品之成形開裂。因此，已採用使用電腦而依據各種成形條件進行板材之壓製成形之模擬，並依據其結果而判定成形條件之妥適性之方法(諸如專利文獻1)。

[0003]上述方法一般乃重複執行以下三步驟至獲致將不發生成形開裂，且亦滿足其它要求(諸如產品之低重量化、薄型化)之適當之成形條件為止，即：

(1)依據設定之成形條件而進行壓製成形，並使用上述模擬結果而逐次算出材料各部之應變。

(2)基於已算出之應變是否超過已預先就各材料而準備之成形極限線圖(Forming Limit Diagram, FLD)中描繪之成形極限線(Forming Limit Curve, FLC)而進行有關成形開裂

之發生之判定。

(3)判定已發生成形開裂後，則修正視為成形開裂發生之原因之部分之成形條件。

[0004]上述參照成形極限線圖而藉壓製成形之模擬搜尋適當之成形條件之方法，在追求產品設計階段之成本降低與設計期間之縮短方面極具實益。

[0005]然而，習知之方法乃單純參照應變之方向維持固定之所謂比例變形時之成形極限線圖(比例變形FLD)而判定是否發生成形開裂，即便應用於伴隨複雜之變形之實際之壓製成形，亦多未能實現適當之成形條件之搜尋。換言之，習知之方法之變形路徑相關性較強，無法應用於發生複雜之變形之碰撞等現象。

[0006]因此，近年，已開發用於判定使用應力而發生成形開裂與否之方法(應力FLD)。舉例言之，專利文獻2中已揭露藉比例載重路徑而推定應變空間之破裂極限線，並將應變空間之破裂極限線轉換為應力空間之破裂極限線(破裂極限應力線)，而使用破裂極限應力線算出破裂危險度，再依據已算出之破裂危險度進行破裂判定之方法。藉上述方法，即可進行包含一種以上之變形路徑變化之過程中之破裂判定對象部位之破裂判定。換言之，上述方法之變形路徑相關性較低，而亦可應用於發生複雜變形之碰撞等現象。

[0007]另，習知之方法在任一組成部分發生破裂時，藉除去前述組成部分而呈現破裂狀態。一旦除去某個組成部

分，該組成部分所承受之應力將分散而施加於其周邊之組成部分。然而，除去之組成部分之尺寸若較小，施加於其周邊組成部分之應力亦較小，龜裂將徐緩擴大，但除去之組成部分之尺寸若較大，則施加於其周邊組成部分之應力亦較大，模擬時之龜裂容易較實際情況更為擴大。因此，習知之方法可能難以預測破裂發生後之反應。

[0008]舉例言之，專利文獻3中，已揭露在藉有限元素法模型化筒狀體之軸線相互平行而集合構成之吸震體，並與已藉有限元素法而模型化之被碰撞體預定地碰撞而進行碰撞解析之衝突解析裝置中，於上述模型化後之吸震體之壓縮時之應力與應變之關係所代表之整體之阻力特性超過預設之應變之值之領域內，設定抑制應力之上昇之校正特性之方法。更具體而言，已揭露在應變 ε 超過 $\varepsilon 1$ 之領域中，應力 σ 將伴隨應變 ε 之增加而降低之校正特性。藉上述方法，即可於應力-應變管制之廣大特性領域中自然地以高精度重現而解析碰撞。

然而，專利文獻3中，並未揭露校正特性之具體設定方式。

【先行技術文獻】

【專利文獻】

[0009] 【專利文獻1】：日本專利特開2007-152407號公報

【專利文獻2】日本專利第4980499號公報

【專利文獻3】日本專利特開2011-53807號公報

【發明內容】

發明概要

發明欲解決之課題

[0010]如上所述，習知之方法可能難以預測破裂發生後之反應。

[0011]本發明乃為解決上述問題而設計，目的在使破裂發生後之反應得以接近實際之反應。

用以解決課題之手段

[0012]本發明之變形解析裝置可算出代表對應變形而發生於材料內部之狀態之狀態變數，其特徵在於包含有：記憶部，可記憶材料之解析資料；狀態變數算出部，可基於前述解析資料而算出前述材料之變形之各時刻之前述材料之各組成部分之應力及其它狀態變數；破裂判定部，可基於已算出之前述狀態變數並依據已預先對前述材料求得之破裂極限應力線，而判定前述材料之各組成部分中是否已發生破裂；剛性降低部，可就前述材料之各組成部分中已判定為已發生前述破裂之組成部分，不除去前述組成部分，而以下式使 σ 減少，藉此降低前述有組成部分之剛性並更新前述解析資料；在該式中令 σ 設為已考量剛性降低之應力，將 D 設為連體損傷力學之損傷變數(但 $0 \leq D \leq 1$)及將 σ' 設為未考量剛性降低之應力，並依下式而減少 σ ；輸出部，可輸出已算出之前述狀態變數。

$$\sigma = (1-D) \sigma'$$

又，本發明之變形解析裝置之其它特徵則在前述剛性降

低部於前述損傷變數D超過另定之閾值時，將除去判定為已發生前述破裂之組成部分。

[0013]本發明之變形解析方法乃藉包含可記憶材料之解析資料之記憶部之解析裝置而算出代表對應變形而發生於前述材料內部之狀態之狀態變數，其特徵在於前述解析裝置將基於前述解析資料而算出前述材料之變形之一時刻之前述材料之各組成部分之應力及其它狀態變數；再基於已算出之前述狀態變數並依據已預先對前述材料求得之破裂極限應力線，而判定前述材料之各組成部分中是否已發生破裂；就前述材料之各組成部分中已判定為已發生前述破裂之組成部分不除去前述組成部分，而將 σ 設為已考量剛性降低之應力，將D設為連體損傷力學之損傷變數(但 $0 \leq D \leq 1$)及將 σ' 設為未考量剛性降低之應力，並藉下式而減少 σ ，以降低前述組成部分之剛性，並更新前述解析資料；再基於已更新之前述解析資料而算出前述材料之變形之次一時刻之前述材料之各組成部分之狀態變數；然後輸出已算出之前述狀態變數。

$$\sigma = (1-D) \sigma'$$

又，本發明之變形解析方法之其它特徵則在前述損傷變數D超過另定之閾值時，將除去已判定為已發生前述破裂之組成部分。

[0014]本發明之程式用於使包含可記憶材料之解析資料之記憶部之電腦執行算出代表對應變形而發生於前述材料內部之狀態之狀態變數之變形解析，本程式可使前述電

腦執行以下作業：基於前述解析資料而算出前述材料之變形之一時刻之前述材料之各組成部分之應力及其它狀態變數；基於已算出之前述狀態變數並依據已預先對前述材料求得之破裂極限應力線，而判定前述材料之各組成部分中是否已發生破裂；就前述材料之各組成部分中已判定為已發生前述破裂之組成部分，不除去前述組成部分，而將 σ 設為已考量剛性降低之應力，將 D 設為連體損傷力學之損傷變數(但 $0 \leq D \leq 1$)及將 σ' 設為未考量剛性降低之應力，並藉下式而減少 σ ，以降低前述組成部分之剛性，並更新前述解析資料；再基於已更新之前述解析資料而算出前述材料之變形之次一時刻之前述材料之各組成部分之狀態變數；然後輸出已算出之前述狀態變數。

$$\sigma = (1-D) \sigma'$$

又，本發明之程式之其它特徵則在前述損傷變數 D 超過另定之閾值時，將除去已判定為已發生前述破裂之組成部分。

發明效果

[0015] 依據本發明，可就已基於破裂極限應力線而判定為已發生破裂之組成部分，不除去該組成部分，而將 σ 設為已考量剛性降低之應力，將 D 設為連體損傷力學之損傷變數(但 $0 \leq D \leq 1$)及將 σ' 設為未考量剛性降低之應力，並藉下式而減少 σ ， $\sigma = (1-D) \sigma'$ ，以降低前述組成部分之剛性，而使破裂發生後之反應接近實際之反應。

【圖式簡單說明】

[0016]圖1A顯示實驗所得之應力-應變關係 c_0 及習知方法所得之應力-應變關係 c_1 。

圖1B顯示未考量剛性降低之應力-應變關係 c_2 及本發明方法所得(已考量剛性降低)之應力-應變關係 c_3 。

圖2例示解析裝置之概略構造。

圖3A例示組成部分構造資料之資料構造。

圖3B例示節點座標資料之資料構造。

圖3C例示位移條件資料之資料構造。

圖3D例示荷重條件資料之資料構造。

圖4例示測試片。

圖5A例示評價點資料之資料構造。

圖5B例示時刻-節點座標資料之資料構造。

圖5C例示時刻-評價點狀態資料之資料構造。

圖6A為例示解析裝置之動作流程之流程圖。

圖6B為例示破裂判定執行處理之流程圖。

圖6C為例示應力修正處理之流程圖。

圖7A例示解析參數之各參數。

圖7B例示各模式間共通之破裂極限應力線。

圖8例示解析結果。

【實施方式】

用以實施發明之形態

[0017]以下，參照附圖說明本發明之實施形態。

本實施形態中，採用有限元素法(Finite Element Method, FEM)而進行材料之變形解析。且，基於應力FLD而進行破

裂判定。任一組成部分(實際乃組成部分所包含之任何評價點)發生破裂後，將不立即除去該組成部分，而使該組成部分之剛性徐緩降低，並在剛性降低一定程度之時，再除去該組成部分。組成部分之剛性降低則因操作該組成部分所承受之應力而表現。具體而言，可基於連體損傷力學之觀念而加以表現如下式。

$$\sigma = (1-D) \sigma' \cdots (\text{式1})$$

其中， σ 為已考量剛性降低之應力， D 為連體損傷力學之損傷變數(但 $0 \leq D \leq 1$)， σ' 為未考量剛性降低之應力。依據式1，損傷變數 D 若增大，則已考量剛性降低之應力 σ 將減小。

[0018] 連體損傷力學乃由連體力學之觀點解析材料之損傷與破壞之進程之力學理論。連體損傷力學可使用適當之宏觀動力學性損傷變數而模型化損傷狀態，並使用上述損傷變數而記錄損傷材料之動力反應與損傷之增長。

【數1】

$$D' = \frac{Y}{S} p' H(p - p_D) \cdots (\text{式2})$$

其中， D' 為損傷變數 D 之變化率(損傷速度)， Y 為損傷伴生變數， S 為材料常數， p 為累積塑性應變， p' 為累積塑性應變 p 之變化率， p_D 為累積塑性應變 p 之閾值， $H(\)$ 為 Heaviside 函數。其次，可推論損傷變數 D 增大而達到臨界值 D_c 後，即，下式成立時，將發生龜裂或破壞。

【數2】

$$D = \int_0^1 D' dt = D_c \quad \cdot \cdot \cdot \quad (\text{式 } 3)$$

[0019] 損傷變數D可解釋為伴隨損傷過程中之微小分布空隙之增大之承重有效面積之減少率。承重有效面積之減少則可使外力引起之應力 σ 之效果擴大。上述擴大後之應力(有效應力) σ' 則記為下式。

$$\sigma' = \sigma / (1-D) \cdots (\text{式 } 4)$$

由該式4已導出式1。

[0020] 圖1A、圖1B顯示本發明之概念。

圖1A顯示實驗所得之應力-應變關係 c_0 及習知方法(除去已發生破裂之組成部分之方法)所得之應力-應變關係 c_1 。其中，橫軸代表應變，縱軸代表應力。且，應力 σ_0 代表破裂極限應力。如圖1A中箭號所示，本發明之目的在使曲線 c_1 接近曲線 c_0 。

[0021] 因此，任一組成部分發生破裂後，不除去該組成部分，而使該組成部分之剛性徐緩降低，即可加以實現。圖1B已顯示未考量剛性降低之應力-應變關係 c_2 及本方法所得之(已考量剛性降低)之應力-應變關係 c_3 。其中，橫軸代表應變，縱軸代表應力。且，應力 σ_0 代表破裂極限應力。如圖1B中箭號所示，使破裂組成部分之剛性徐緩降低，即可獲致曲線 c_3 。

[0022]圖2例示進行上述解析之解析裝置1之概略構造。

解析裝置1可基於記憶部12中已預先記憶之程式並參照同樣記憶於記憶部12中之資料及/或未圖示之其它裝置中記憶之資料，而執行各種處理。且，解析裝置1可對應使用者藉操作部13而輸入之指示而執行各種處理，並朝顯示部14輸出其結果。因此，解析裝置1包含通訊部11、記憶部12、操作部13、顯示部14、處理部15。

[0023]通訊部11包含用於對未圖示之網路連接解析裝置1之通訊介面電路。其次，通訊部11可朝處理部15供給經網路自未圖示之其它裝置而接收之資料。且，通訊部11可經網路而朝其它裝置發送自處理部15供入之資料。

[0024]記憶部12包含諸如半導體記憶體、磁碟裝置及光碟裝置中至少任一。記憶部12可記憶處理部15之處理所使用之操作系統程式、驅動程式、應用程式、資料等。舉例言之，記憶部12可記憶用於控制操作部13之輸入裝置驅動程式、用於控制顯示部14之輸出裝置驅動程式等作為驅動程式。且，記憶部12可記憶用於進行解析資料之作成之應用程式、進行材料之變形解析之應用程式等作為應用程式。且，記憶部12可記憶代表解析之對象、條件等之解析資料、代表破裂極限應力線之極限線資料、代表解析之結束時刻之結束時刻資料等作為資料。且，記憶部12可記憶代表各組成部分之評價點之評價點資料、代表現在時刻之時間計算器、代表每一刻之各節點之座標之節點座標資料、代表每一刻之各評價點之狀態之評價點狀態資料等作

為其它資料。進而，記憶部12亦可暫時記憶有關預定之處理之暫時性資料。

[0025]解析資料乃代表解析之對象、條件等之資料，舉例言之，包含代表材料形狀之解析模型資料、代表材料常數之材料特性資料、代表邊界條件之邊界條件資料、有關解析之控制之解析控制參數等。解析資料可由使用者藉操作部13經手動而輸入，亦可由處理部15基於用於進行解析資料之作成之應用程式而自動作成之。

[0026]解析模型資料乃代表材料形狀之資料，舉例言之，包含代表材料之各組成部分之節點之組成部分構成資料(圖3A)、代表各節點之座標之節點座標資料(圖3B)等。

[0027]圖3A~圖3D例示各種資料之資料構造。

圖3A例示組成部分構成資料之資料構造。組成部分構成資料中則就各組成部分包含前述組成部分之編號、前述組成部分包含之節點之編號等。

[0028]又，圖3B例示節點座標資料之資料構造。節點座標資料中則就各節點包含前述節點之編號、前述節點之X座標、Y座標及Z座標等。

[0029]圖4例示基於解析模型資料而顯示之測試片。

圖4中，以平面圖顯示使用六面體組成部分而模型化後之JIS(Japanese Industrial Standards)5號測試片。

[0030]材料特性資料乃代表材料常數之資料，舉例言之，包含密度、彈性模數、帕松比等。

[0031]且，應力-應變關係在採用式5之Swift法則時，包

含 K 、 ε_0 、 n 等。

【數3】

$$\sigma = K(\varepsilon_0 + \varepsilon)^n \cdots (\text{式5})$$

另，應力-應變關係不受限於上述關係，亦可為上述以外之關係(諸如Voce法則)。且，亦可不採用本質方程式之形式，而使應力-應變關係多線性逼近化，並直接輸入數值。

[0032]進而，損傷相關常數包含式2之 D' (損傷速度)、式3之 D_c (受破裂判定之損傷度之閾值)等。

[0033]另，該等材料常數則決定成使測試(諸如單軸拉伸測試)之解析結果與實驗結果一致。具體而言乃決定如下。

- (1)決定材料常數之初始值。
- (2)進行測試之解析而算出破裂應變及應力-應變關係。
- (3)判定破裂應變及應力-應變關係是否與實驗所得之關係一致。
- (4)若破裂應變不一致或應力-應變關係不一致，則改變材料常數之值。
- (5)重複進行(2)~(4)至破裂應變及應力-應變關係均一致為止，以調整材料常數。

但，應力-應變關係因精度尤其在破裂應變周邊降低，故在尤其不發生損傷之最大應力點之前進行上述比較。

[0034]邊界條件資料乃代表邊界條件之資料，舉例言之，包含代表位移條件之位移條件資料(圖3C)、代表荷重條件之荷重條件資料(圖3D)等。

[0035]圖3C例示位移條件資料之資料構造。位移條件資料中就各節點包含前述節點之編號、前述節點之X位移、Y位移及Z位移等。

[0036]又，圖3D例示荷重條件資料之資料構造。荷重條件資料就各節點包含前述節點之編號、前述節點之X荷重、Y荷重及Z荷重等。

[0037]返回圖2，操作部13亦可為可操作解析裝置1之任何裝置，諸如鍵盤、觸控板等。使用者可經操作部13而輸入文字、數字等。使用者一旦操作操作部13，將產生對應上述操作之訊號。其次，所產生之訊號則供入處理部15作為使用者之指示。

[0038]顯示部14亦可為可顯示影像、圖像、文字等之任何裝置，諸如液晶顯示器、有機EL(Electro-Luminescence)顯示器等。顯示部14可顯示對應處理部15所供入之影像資料之影像、對應圖像資料之圖像、對應文字資料之文字等。

[0039]處理部15包含一個或複數個處理器及其周邊電路。處理部15可統整控制解析裝置1之整體動作，而為諸如CPU(Central Processing Unit)。處理部15可控制通訊部11、顯示部14等之動作，以對應記憶部12中記憶之程式、操作部13之操作等而依適當之步驟執行解析裝置1之各種處理。處理部15可基於記憶部12中記憶之程式(操作系統程式、驅動程式、應用程式等)而執行處理。且，處理部12可平行處理複數種程式(應用程式等)。

[0040]處理部15包含控制部151、狀態變數算出部152、

破裂判定部153、應力修正部154。該等各部乃可藉處理部15所包含之處理器所執行之程式而實現之功能模組。或，該等各部亦可安裝於解析裝置1作為韌體。

[0041]以下，說明控制部151之處理。

使用者藉操作部13而指示用於進行材料之變形解析之應用程式之執行後，解析裝置1將基於該程式而開始進行處理。

[0042]可藉上述程式而實現之控制部151將進行資料之初始化。即，控制部151將自記憶部12取得解析模型資料，並基於所取得之解析模型資料而就各組成部分決定預定數(諸如8個)之評價點。其次，控制部151將作成代表已決定之評價點之評價點資料(圖5A)，並將該評價點資料儲存於記憶部12中。且，控制部151將於記憶部12中確保用於記憶代表現在時刻之時間計算器、代表每一刻之各節點之座標之時刻-節點座標資料(圖5B)及代表每一刻之各評價點之狀態之時刻-評價點狀態資料(圖5C)之領域，並使其等初始化為「0」。

[0043]圖5A~圖5C顯示各種資料之資料構造之他例。

圖5A例示評價點資料之資料構造。評價點資料中就各組成部分包含前述組成部分之編號、前述組成部分所包含之評價點之編號等。

[0044]又，圖5B則例示時刻-節點座標資料之資料構造。時刻-節點座標資料中就各時刻上之各節點包含前述節點之編號、前述節點之X座標、Y座標及Z座標等。

[0045]又，圖5C例示時刻-評價點狀態資料之資料構造。時刻-評價點狀態資料中就各時刻上之各評價點包含前述評價點之編號、前述評價點之應變、應力、代表破裂是否已發生之破裂旗標、損傷變數(損傷度)及累積損傷速度等。

[0046]控制部151將對狀態變數算出部152指示處理之執行，使其算出狀態變數(諸如應變、應力等)。

[0047]控制部151並對破裂判定部153指示處理之執行，使其基於應力FLD而執行破裂判定。

[0048]控制部151可判定任一評價點上是否已發生破裂。即，控制部151可參照記憶部12中記憶之時間計算器，而取得時刻。且，控制部151可以所取得之時刻為線索，並參照記憶部12中記憶之時刻-評價點狀態資料，而指定對應之各評價點。其次，控制部151將判定已指定之各評價點中，任何評價點之破裂旗標是否顯示已發生破裂。

[0049]任一評價點發生破裂後，即，任一評價點之破裂旗標顯示已發生破裂時，控制部151將對應力修正部154指示處理之執行，使其修正前述評價點之應力。

[0050]控制部151並將使時刻前移一單位。即，控制部151將參照記憶部12中記憶之時間計算器而取得時刻。且，控制部151將使所取得之時刻遞增(+1)，而更新時刻。其次，控制部151將參照記憶部12中記憶之時間計算器而儲存更新後之時刻。

[0051]控制部151可判定是否已屆至結束時刻。即，控

制部151可參照記憶部12中記憶之結束時刻資料，而取得結束時刻。其次，控制部151將判定是否已屆至取得更新後之時刻之結束時刻。

[0052]若未屆至結束時刻，控制部151將對狀態變數算出部152指示狀態變數之算出。

[0053]另，若已屆至結束時刻，控制部151將輸出解析結果。即，控制部151將自記憶部12取得時刻-節點座標資料及時刻-評價點狀態資料。其次，控制部151則依預定之態樣朝顯示部14輸出所取得之時刻-節點座標資料及時刻-評價點狀態資料。然後，控制部151將結束處理。

[0054]以下，說明狀態變數算出部152之處理。

狀態變數算出部152可自記憶部12取得解析資料、評價點資料、時刻-節點座標資料及時刻-評價點狀態資料，並基於所取得之解析資料、評價點資料、時刻-節點座標資料及時刻-評價點狀態資料而進行材料之變形解析，並算出現在時刻之節點座標及狀態變數。具體而言，狀態變數算出部152可參照記憶部12中記憶之時間計算器而取得時刻。且，狀態變數算出部152可以所取得之時刻之先前時刻為線索，並參照記憶部12中記憶之時刻-評價點狀態資料，而取得對應之各評價點之應力。且，狀態變數算出部152可將所取得之應力轉換為各節點之荷重，並基於轉換後之荷重而算出各節點之位移(座標)。進而，狀態變數算出部152可基於已算出之位移而算出各評價點之應變，再基於已算出之應變而算出各評價點之應力。

[0055]狀態變數算出部152可參照記憶部12中記憶之時刻-節點座標資料，而使已算出之各節點之座標與所取得之時刻成對應關係再加以儲存。且，狀態變數算出部152可參照記憶部12中記憶之時刻-評價點狀態資料，而使已算出之各評價點之應變及應力與所取得之時刻成對應關係再加以儲存。然後，狀態變數算出部152即結束處理。

[0056]另，變形解析時，將使用商用之應用程式之Abaqus(登錄商標)。然而，亦可使用其它應用程式(諸如OpenFOAM(登錄商標))。

Abaqus(登錄商標)可基於動態顯式而求出狀態變數。動態顯式乃不反覆計算即解開已考量加速度項之動態平衡式(運動方程式)之方法。首先，將對應單一組成部分之運動方程式(式6)疊加於材料整體上，而求出對應材料整體之運動方程式。

【數4】

$$M \cdot \ddot{u} + P - F = 0 \cdots (\text{式6})$$

其中，M為質量矩陣，u為位移，P為等效節點力向量，F為節點外力向量。其次，解開所求得之運動方程式，即可求出位移u。接著，基於位移-應變關係等，而自求得之位移u求出狀態變數。另，解開運動方程式時使用格點法之一之中央差分法。然而，亦可使用其它解法(前向差分法、後向差分法、拉格朗日法、值譜法等)。

[0057]以下，說明破裂判定部153之處理。

破裂判定部153將就未發生破裂之各評價點，基於藉狀

態變數算出部152而算出之前述評價點之應力而算出前述評價點之最大主應力及最小主應力。即，破裂判定部153可參照記憶部12中記憶之時間計算器而取得時刻。且，破裂判定部153可以所取得之時刻為線索，並參照記憶部12中記憶之時刻-評價點狀態資料，而指定對應之各評價點。破裂判定部153將就已指定之各評價點參照前述評價點之破裂旗標而判定前述破裂旗標是否顯示已發生破裂。其次，前述破裂旗標未顯示已發生破裂時，破裂判定部153將抽樣前述評價點之應力，並基於所抽樣之應力而算出最大主應力及最小主應力。

[0058]破裂判定部153可判定前述評價點之最大主應力及最小主應力之關係是否超過破裂極限應力線。即，破裂判定部153可自記憶部12取得極限線資料。其次，破裂判定部153將判定前述評價點之最大主應力及最小主應力之關係是否超過所取得之極限線資料所代表之破裂極限應力線。

[0059]前述評價點之最大主應力及最小主應力之關係超過破裂極限應力線時，破裂判定部153將判定前述評價點已發生破裂，並記錄之。即，前述評價點之最大主應力及最小主應力之關係超過所取得之極限線資料所代表之破裂極限應力線時，破裂判定部153將改變前述評價點之破裂旗標以顯示已發生破裂。然後，破裂判定部153即結束處理。

[0060]以下，說明應力修正部154之處理。

應力修正部154可就已由破裂判定部153判定為已發生

破裂之各評價點算出前述評價點之損傷速度。即，應力修正部154可參照記憶部12中記憶之時間計算器而取得時刻。且，應力修正部154可以所取得之時刻為線索，並參照記憶部12中記憶之時刻-評價點狀態資料，而指定對應之各評價點。應力修正部154將就已指定之各評價點，參照前述評價點之破裂旗標，而判定前述破裂旗標是否顯示已發生破裂。其次，前述破裂旗標顯示已發生破裂時，應力修正部154將抽樣前述評價點之編號、應變及應力。

且，應力修正部154將以所取得之時刻之先前時刻及已抽樣之評價點編號為線索，並參照記憶部12中記憶之時刻-評價點狀態資料，而指定對應之評價點。進而，應力修正部154將抽樣已指定之評價點之損傷度。

然後，應力修正部154將基於已抽樣之應變、應力及損傷度，並使用式2而算出損傷速度。

[0061]應力修正部154可算出前述評價點之損傷度。即，應力修正部154可抽樣已指定之評價點之累積損傷速度。且，應力修正部154可對已抽樣之累積損傷速度加算已算出之損傷速度，而更新累積損傷速度。其次，應力修正部154可對已抽樣之損傷度加算更新後之累積損傷速度，而更新損傷度。應力修正部154並可將更新後之損傷度及累積損傷速度儲存於記憶部12中作為前述評價點之損傷度及累積損傷速度。

[0062]應力修正部154並可判定前述評價點之損傷度是否超過閾值。即，應力修正部154可參照記憶部12中記憶之

材料特性資料，而抽樣損傷度之閾值。其次，應力修正部154可判定更新後之損傷度是否超過已抽樣之閾值。

[0063] 前述評價點之損傷度未超過閾值時，應力修正部154將修正(減少)前述評價點之應力。即，應力修正部154可基於抽樣之應力及更新後之損傷度，並使用式1而算出修正應力。應力修正部154可將算出之修正應力儲存於記憶部12中作為前述評價點之應力。

[0064] 另，前述評價點之損傷度超過閾值時，應力修正部154將除去包含前述評價點之組成部分。即，應力修正部154將以抽樣之評價點編號為線索，並參照記憶部12中記憶之評價點資料，而抽樣對應之組成部分之編號及其它評價點之編號。其次，應力修正部154將以抽樣之組成部分編號為線索，並參照記憶部12中記憶之組成部分構成資料，而刪除有關對應之組成部分之項目。且，應力修正部154將以抽樣之組成部分編號為線索，並參照記憶部12中記憶之評價點資料，而刪除有關對應之組成部分之項目。進而，應力修正部154將以所取得之時刻及已抽樣之各評價點編號為線索，並參照記憶部12中記憶之時刻-評價點狀態資料，而將對應之各評價點之應力改為「0」。然後，應力修正部154即結束處理。

[0065] 圖6A~圖6C例示解析裝置1之動作流程。另，以下所說明之動作流程乃基於預先記憶於記憶部12中之程式而主要由處理部15與解析裝置1之各組成部分所協同執行。

[0066] 圖6A例示控制部151之動作流程。

使用者藉操作部13而指示變形解析之執行後，控制部151將使資料初始化(步驟S600)。

[0067]控制部151將對狀態變數算出部152指示處理之執行，使其算出狀態變數(諸如應變、應力等)(步驟S602)。

[0068]控制部151並對破裂判定部153指示處理之執行，使其基於應力FLD而執行破裂判定(步驟S604)。

[0069]圖6B例示破裂判定部153之動作流程。

破裂判定部153將就未發生破裂之各評價點基於已算出之前述評價點之應力而算出前述評價點之最大主應力及最小主應力(步驟S620)。

破裂判定部153將判定前述評價點之最大主應力及最小主應力之關係是否超過破裂極限應力線(步驟S622)。

前述評價點之最大主應力及最小主應力之關係超過破裂極限應力線時(步驟S622為是)，破裂判定部153將記錄前述評價點已發生破裂(步驟S624)。然後，破裂判定部153即結束處理。

[0070]返回圖6A，控制部151將判定任何評價點是否已發生破裂(步驟S606)。

[0071]任一評價點發生破裂後(步驟S606為是)，控制部151將對應力修正部154指示處理之執行，使其修正前述評價點之應力(步驟S608)。

[0072]圖6C例示應力修正部154之動作流程。

應力修正部154將就已發生破裂之各評價點算出前述評價點之損傷速度(步驟S630)。

應力修正部154將算出前述評價點之損傷度(步驟S632)。

應力修正部154將判定前述評價點之損傷度是否超過閾值(步驟S634)。

前述評價點之損傷度未超過閾值時(步驟S634爲否)，應力修正部154將修正前述評價點之應力(步驟S636)。

另，前述評價點之損傷度超過閾值時(步驟S634爲是)，應力修正部154將除去包含前述評價點之組成部分(步驟S638)。然後，應力修正部154即結束處理。

[0073]返回圖6A，控制部151將使時刻前移一單位(步驟S610)。

[0074]控制部151將判定是否屆至結束時刻(步驟S612)。

[0075]若未屆至結束時刻(步驟S612爲否)，控制部151將返回狀態變數之算出指示階段(步驟S602)。

[0076]另，若已屆至結束時刻(步驟S612爲是)，控制部151將輸出解析結果(步驟S614)。然後，控制部151即結束處理。

[0077]以下，說明本實施形態之一實施例。

本實施例中，進行了朝箭號方向依一定速度拉伸圖4所示之形狀之測試片(JIS5號測試片)之拉伸測試之解析。已就以應力FLD爲標準之破裂判定之有無、破裂組成部分之剛性降低之有無及損傷相關常數之大小個別不同之解析參數之若干模式算出應力-應變關係，並確認剛性降低之程度。

[0078]圖7A例示解析參數。

圖7A例示解析參數之各模式。其中， p_1 代表破裂判定及剛性降低均不包含之模式， p_2 代表僅包含破裂判定之模式(習知方法)， $p_3\sim p_5$ 代表破裂判定及剛性降低均包含之模式(本案方法)。且， $p_3\sim p_5$ 代表損傷相關常數(具體而言乃損傷速度 D')個別不同之模式。另，此外之材料常數則就各模式均相同。

[0079]圖7B例示解析參數之各模式所共通之破裂極限應力線。最大主應力及最小主應力之關係超過破裂極限應力線 c 時，將判定已發生破裂，並開始發生剛性降低。

[0080]圖8例示解析結果。

圖8中顯示就解析參數之各模式算出之應力-應變關係。其中，橫縱代表標稱應變，縱軸代表標稱應力。由圖8所示之應力-應變關係可確認發生破裂後，模式 p_2 (習知方法)因破裂組成部分之除去而導致剛性急速降低，相對於此，模式 $p_3\sim p_5$ (本案方法)則因破裂組成部分所承受之應力減少而使剛性徐緩降低。且，亦已確認可依損傷相關常數之大小而調整剛性降低之程度。

[0081]如以上之說明，減少發生破裂後之組成部分所承受之應力，而使前述組成部分之剛性徐緩降低，即可使發生破裂後之反應接近實際之反應。

[0082]本發明之技術範圍不受於上述之實施形態，應注意範圍亦擴及申請專利範圍所揭露之發明及其均等物。

舉例言之，本實施形態中，解析裝置1雖包含圖2所示之

各部，但其局部亦可設有未圖示之伺服器裝置。伺服器裝置亦可包含諸如相當於解析裝置1之記憶部12之記憶部，並朝解析裝置1發送該記憶部中記憶之程式、資料等，以使解析裝置1執行處理。或，伺服器裝置亦可設有相當於解析裝置1之記憶部12及處理部15之記憶部及處理部，並使用該記憶部中記憶之程式、資料等而執行處理，對解析裝置1僅提供其結果。

[0083]又，亦可以記錄於磁記錄媒體、光記錄媒體等可由電腦加以讀取之記錄媒體中之形式而提供可使電腦實現處理部15所具備之各功能之電腦程式。

產業上之可利用性

[0084]本發明可應用於基於應力FLD而進行破裂判定之變形解析裝置、變形解析方法及程式。

【符號說明】

1…解析裝置	c…破裂極限應力線
11…通訊部	c ₀ …應力-應變關係
12…記憶部	c ₁ …應力-應變關係
13…操作部	c ₂ …應力-應變關係
14…顯示部	c ₃ …應力-應變關係
15…處理部	p ₁ ~p ₅ …模式
151…控制部	S600~S614、S620~S624、
152…狀態變數算出部	S630~S638…流程步驟
153…破裂判定部	
154…應力修正部	

申請專利範圍

1. 一種變形解析裝置，可算出代表對應變形而發生於材料內部之狀態之狀態變數，其特徵在於包含有：

記憶部，可記憶材料之解析資料；

狀態變數算出部，可基於前述解析資料而算出前述材料之變形之各時刻之前述材料之各組成部分之應力及其它狀態變數；

破裂判定部，可基於已算出之前述狀態變數並依據已預先對前述材料求得之破裂極限應力線，而判定前述材料之各組成部分中是否已發生破裂；

剛性降低部，就前述材料之各組成部分中已判定為已發生前述破裂的組成部分而言，不除去前述組成部分，而以下式使 σ 減少，藉此降低前述有組成部分之剛性並更新前述解析資料；在該式中令 σ 設為已考量剛性降低之應力、 D 設為連體損傷力學之損傷變數(但 $0 \leq D \leq 1$)， σ' 設為未考量剛性降低之應力；以及

$$\sigma = (1-D) \sigma'$$

輸出部，可輸出已算出之前述狀態變數；

其中前述的破裂係指將超出破裂極限應力線之應變量若被施加到前述組成部分，則會發生表皮粗糙化或頸縮，且到達變形極限之情況。

2. 如請求項1之變形解析裝置，其中前述剛性降低部在前述損傷變數 D 超過另定之閾值時，除去被判定為已發生

前述破裂之組成部分。

3. 一種變形解析方法，藉包含可記憶材料之解析資料之記憶部之解析裝置而算出代表對應變形而發生於前述材料內部之狀態之狀態變數，

其特徵在於前述解析裝置將基於前述解析資料而算出前述材料之變形之一時刻之前述材料之各組成部分之應力及其它狀態變數；

再基於已算出之前述狀態變數並依據已預先對前述材料求得之破裂極限應力線，而判定前述材料之各組成部分中是否已發生破裂；

就前述材料之各組成部分中已判定為已發生前述破裂之組成部分，不除去前述組成部分，而以下式使 σ 減少，藉此降低前述組成部分之剛性並更新前述解析資料；在該式中令 σ 設為已考量剛性降低之應力，將 D 設為連體損傷力學之損傷變數(但 $0 \leq D \leq 1$)及將 σ' 設為未考量剛性降低之應力；以及

$$\sigma = (1-D) \sigma'$$

再基於已更新之前述解析資料而算出前述材料之變形之次一時刻之前述材料之各組成部分之狀態變數；

然後輸出已算出之前述狀態變數；

其中前述的破裂係指將超出破裂極限應力線之應變量若被施加到前述組成部分，則會發生表皮粗糙化或頸縮，且到達變形極限之情況。

4. 如請求項3之變形解析方法，其中前述損傷變數 D 超過另

定之閾值時，除去被判定為已發生前述破裂之組成部分。

5. 一種程式，用於使包含可記憶材料之解析資料之記憶部之電腦執行算出代表對應變形而發生於前述材料內部之狀態之狀態變數之變形解析，

本程式可使前述電腦執行以下作業：

基於前述解析資料而算出前述材料之變形之一時刻之前述材料之各組成部分之應力及其它狀態變數；

基於已算出之前述狀態變數並依據已預先對前述材料求得之破裂極限應力線，而判定前述材料之各組成部分中是否已發生破裂；

就前述材料之各組成部分中已判定為已發生前述破裂之組成部分而言，不除去前述組成部分，而以下式使 σ 減少，藉此降低前述組成部分之剛性並更新前述解析資料；在該式中令 σ 設為已考量剛性降低之應力，將 D 設為連體損傷力學之損傷變數(但 $0 \leq D \leq 1$)及將 σ' 設為未考量剛性降低之應力，並藉下式而減少 σ ，以降低前述組成部分之剛性，並更新前述解析資料；

$$\sigma = (1-D) \sigma'$$

再基於已更新之前述解析資料而算出前述材料之變形之次一時刻之前述材料之各組成部分之狀態變數；

然後輸出已算出之前述狀態變數；

其中前述的破裂係指將超出破裂極限應力線之應變量若被施加到前述組成部分，則會發生表皮粗糙化或

頸縮，且到達變形極限之情況。

6. 如請求項5之程式，其中前述損傷變數D超過另定之閾值時，除去被判定為已發生前述破裂之組成部分。

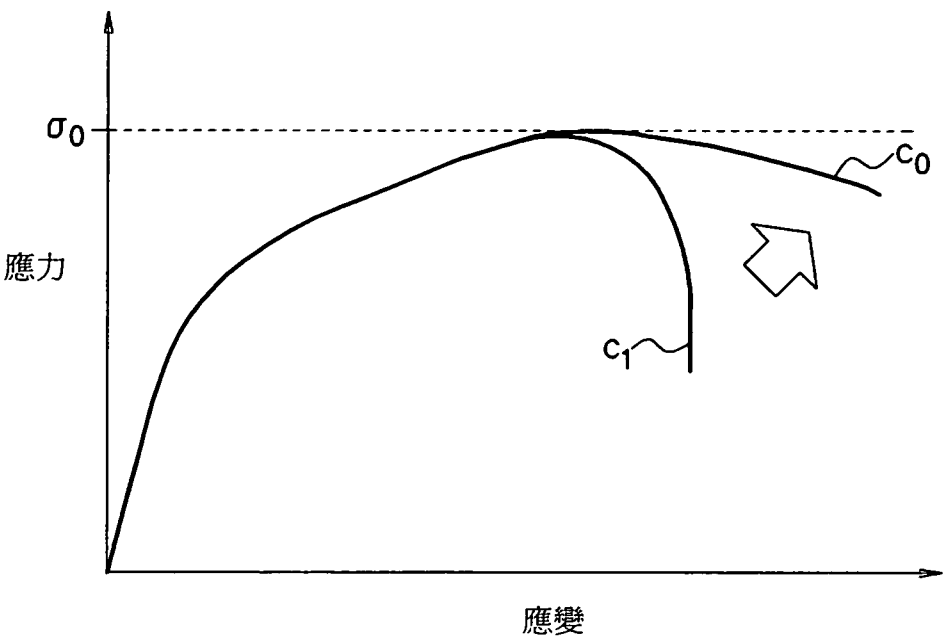


圖 1A

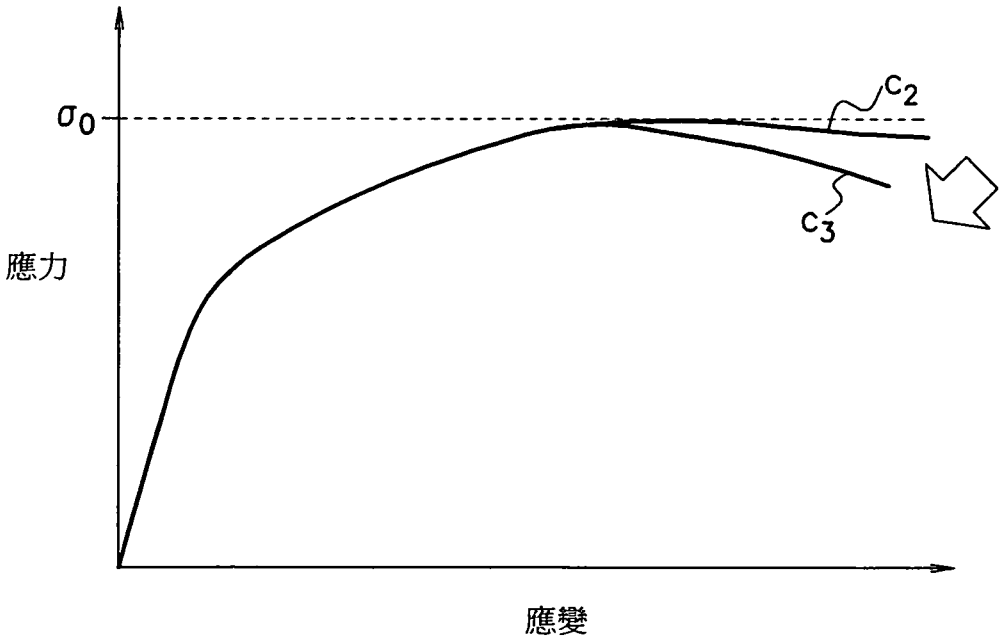


圖 1B

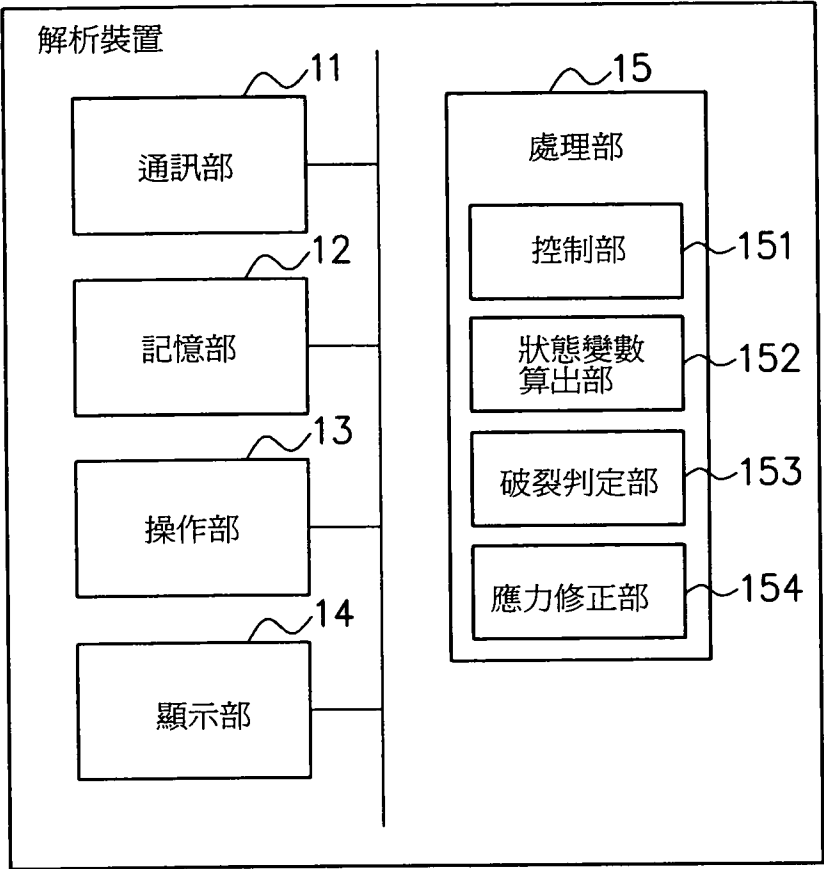


圖 2

組成部分編號	節點編號 1	節點編號 2	節點編號 3	節點編號 4
e ₁	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄
e ₂	n ₅	n ₆	n ₇	n ₈
...	...	...	...	...

圖 3A

節點編號	X座標	Y座標	Z座標
n_1	x_{C_1}	y_{C_1}	z_{C_1}
n_2	x_{C_2}	y_{C_2}	z_{C_2}
...	...	...	...

圖 3B

節點編號	X位移	Y位移	Z位移
n_1	x_{d_1}	y_{d_1}	z_{d_1}
n_2	x_{d_2}	y_{d_2}	z_{d_2}
...	...	...	...

圖 3C

節點編號	X荷重	Y荷重	Z荷重
n_1	x_{l_1}	y_{l_1}	z_{l_1}
n_2	x_{l_2}	y_{l_2}	z_{l_2}
...	...	...	...

圖 3D

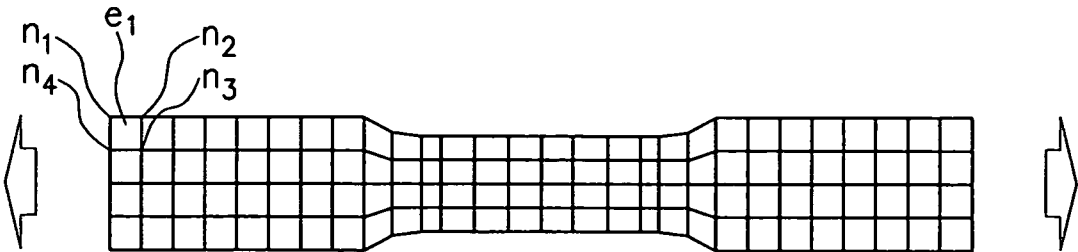


圖 4

組成部分編號	評價點編號 1	評價點編號 2	...	評價點編號 8
e ₁	p ₁	p ₂	...	p ₈
e ₂	p ₉	p ₁₀	...	p ₁₆
...	...	...	...	...

圖 5A

時刻	節點編號	X座標	Y座標	Z座標
t ₁	n ₁	x _{C1}	y _{C1}	z _{C1}
	n ₂	x _{C2}	y _{C2}	z _{C2}
	...	...	...	...
...	...	...	...	...

圖 5B

時刻	評價點編號	應變	應力	破裂旗標	損傷度	累積損傷速度
t ₁	p ₁	s _{n1}	s _{s1}	f ₁	d ₁	ds ₁
	p ₂	s _{n2}	s _{s2}	f ₂	d ₂	ds ₂
	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...

圖 5C

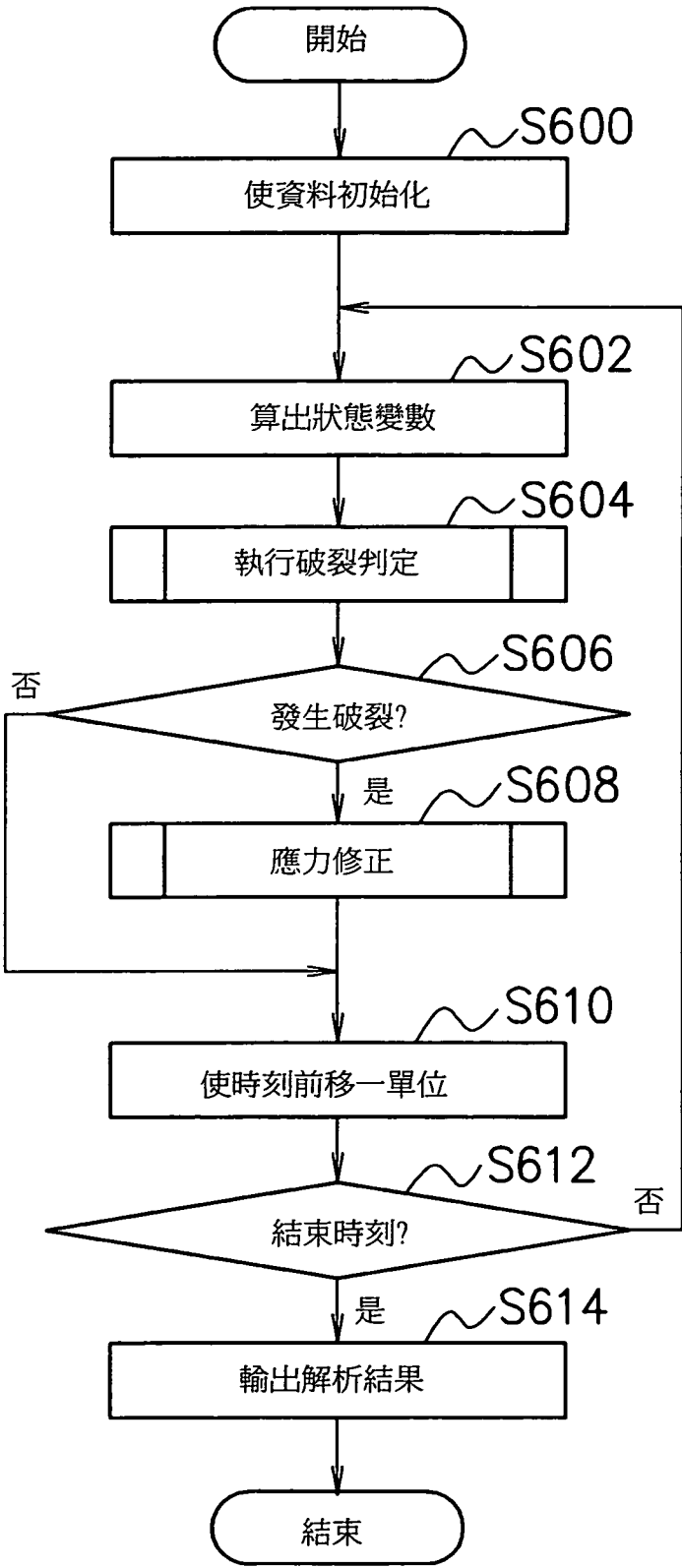


圖 6A

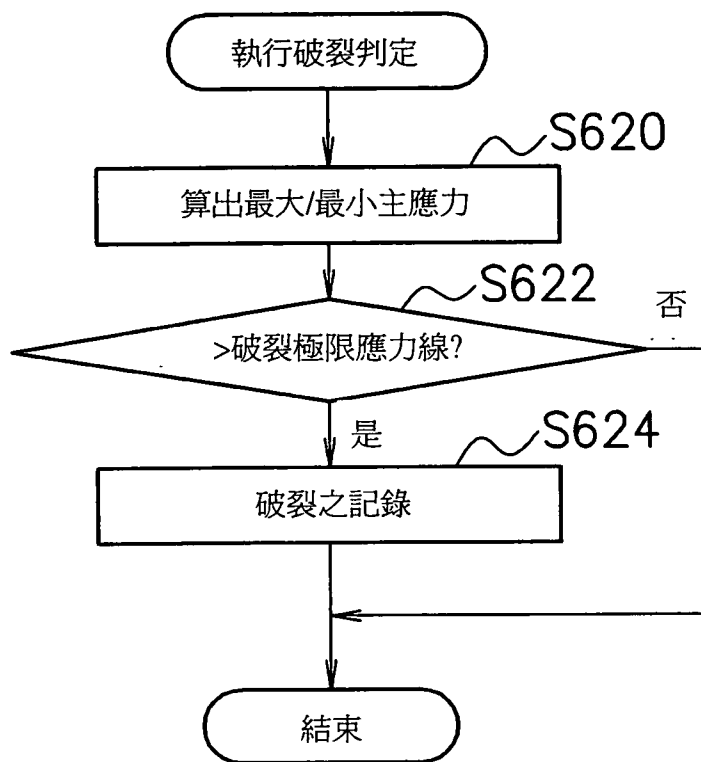


圖 6B

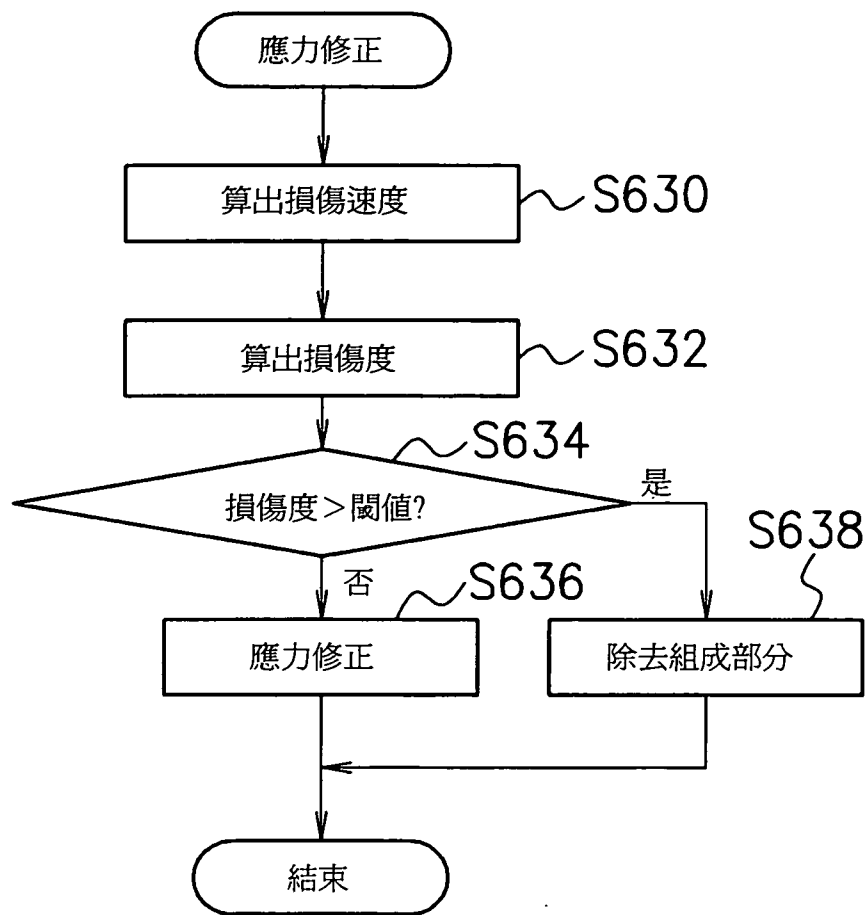


圖 6C

模式	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
破裂判定	X	O	O	O	O
剛性降低	X	X	O	O	O
密度 [kg/mm ³]	7.89×10^{-6}	7.89×10^{-6}	7.89×10^{-6}	7.89×10^{-6}	7.89×10^{-6}
E [MPa]	206000	206000	206000	206000	206000
ν [-]	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333
K [MPa]	922	922	922	922	922
ϵ_0 [-]	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
n [-]	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130
S [MPa]	-	-	14.8	7.4	4.9
Dc [-]	-	-	0.20	0.20	0.20

圖 7A

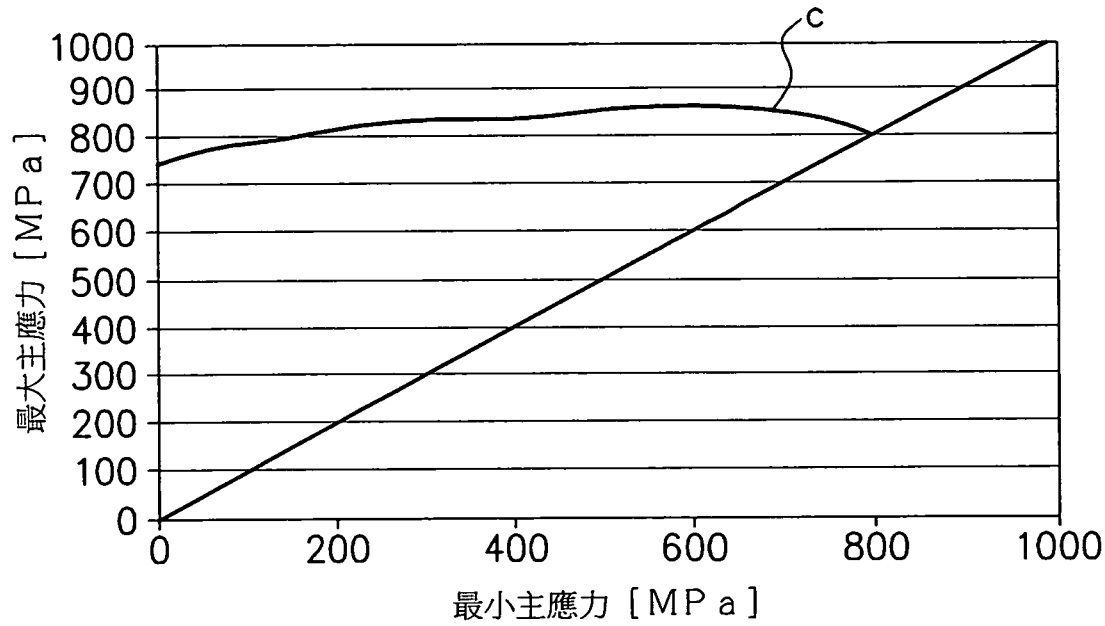


圖 7B

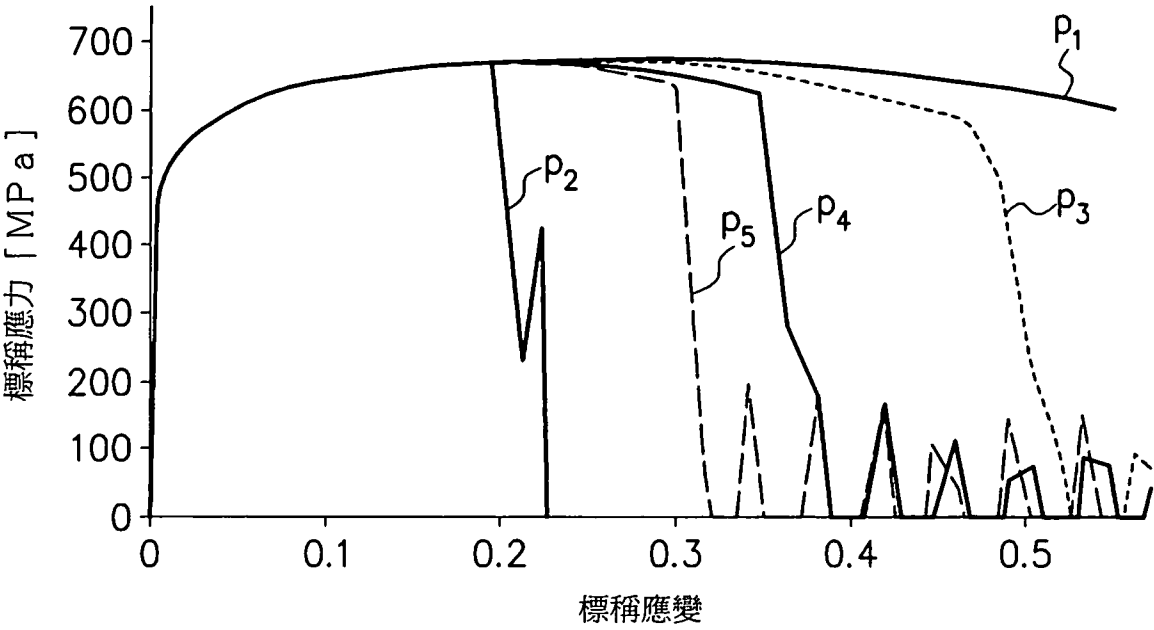


圖 8