

## TDAPIII における材料非線形モデルの不具合について

平素は格別のご高配を賜り、厚く御礼申し上げます。

このたび、TDAPIII において利用可能な材料非線形モデルについて、4 件の不具合が確認されましたので、ご報告いたします。これらの不具合は、当該材料非線形モデルのリリース以降に提供された TDAPIII のすべてのバージョンに含まれています。

項番	概要
1	修正 GHE モデル、吉田モデル、または GHE-S モデルを適用した要素において、履歴曲線上を移動中に増分ひずみがゼロとなる場合、不具合が発生する可能性があります。
2	多重せん断バネモデルにおいて、各バネの減衰特性を算出する際のひずみエネルギーが、HD モデルの骨格曲線に基づいて計算されていました。また、減衰特性を決定する連立方程式の解の精度が不足する場合があります。h- $\gamma$ 関係を適切にモデル化できない可能性があります。
3	3次元独立 $\tau$ - $\gamma$ 曲線モデル（修正 Ramberg-Osgood）を適用した要素を含む場合、特定の条件下で解析が異常終了する、または当該要素の応力-ひずみ関係が正しく計算されない可能性があります。
4	GHE-S モデルにおいて、履歴曲線上における接線剛性の計算式に誤りがあり、解析結果に影響を与える可能性があります。

### 1. 不具合詳細

#### 1.1. 項番 1

本不具合に該当する可能性のある材料非線形モデルのタイプ番号と適用可能要素は表 1 の通りです。

表 1 項番 1 に該当する可能性のある材料非線形モデル

タイプ番号	材料非線形モデル名	適用可能要素
52	修正 GHE モデル	SPRING, SPRING1, SPRING2, SPRING6
53	吉田モデル	
54	GHE-S モデル	SPRING, SPRING1, SPRING2
78	$\tau$ - $\gamma$ 曲線モデル（修正 GHE）	PL-STRAIN, SBOUND2D
89	$\tau$ - $\gamma$ 曲線モデル（吉田モデル）	
93	$\tau$ - $\gamma$ 曲線モデル（GHE-S）	
96	多重せん断バネモデル（修正 GHE）	
97	多重せん断バネモデル（GHE-S）	
718	3次元独立 $\tau$ - $\gamma$ 曲線モデル（修正 GHE）	BRICK8, BRICK20, SBOUND3DS, SBOUND3DC
729	3次元独立 $\tau$ - $\gamma$ 曲線モデル（吉田モデル）	
733	3次元独立 $\tau$ - $\gamma$ 曲線モデル（GHE-S）	
736	3次元多重せん断バネモデル（修正 GHE）	
737	3次元多重せん断バネモデル（GHE-S）	

### 1.1.1. 内容

表 1 に示す材料非線形モデルを適用した要素において、履歴曲線上を移動中に、当該要素の増分ひずみ<sup>\*1</sup>がゼロとなる場合に不具合が発生する可能性があります。詳細は「1.1.2. 発生条件」を参照してください。

<sup>\*1</sup> 本資料ではひずみ（応力）で統一しますが、以下のように材料非線形モデルにより対応する物理量は異なります。

- ・タイプ番号 52, 53, 54 : 並進または回転方向のバネ変形量（バネ反力）
- ・タイプ番号 78, 89, 93 : せん断ひずみ  $\gamma_{xy}$ （せん断応力  $\tau_{xy}$ ）
- ・タイプ番号 96, 97, 736, 737 : 仮想的な非線形バネのバネ変形量（バネ反力）
- ・タイプ番号 718, 729, 733 : せん断ひずみ  $\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$ （せん断応力  $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ ）

#### 1) タイプ番号 : 52, 53, 54, 718, 729, 733, 736, 737 の場合

バネ系要素 (SPRING, SPRING1, SPRING2, SPRING6) およびソリッド系要素 (BRICK8, BRICK20, SBOUND3DS, SBOUND3DC) が該当します。

増分ひずみがゼロとなるステップにおいて、折り返し点を含む過去の履歴情報がクリアされます。その結果、当該ステップの応力は、当該ステップのひずみに対応する骨格曲線上の応力点に移動します。(図 1)

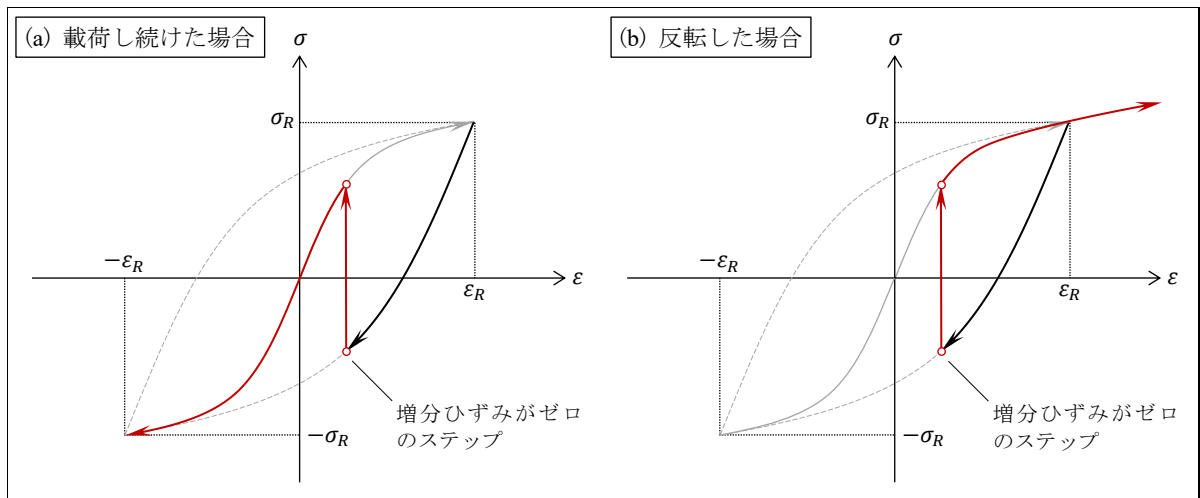


図 1 不具合発生時の応力-ひずみ関係（バネ系要素およびソリッド系要素の場合）

#### 2) タイプ番号 : 78, 89, 93, 96, 97 の場合

シェル系要素（平面ひずみ要素 ; PL-STRAIN, SBOUND2D）が該当します。

増分ひずみがゼロとなるステップにおいて、折り返し点を含む過去の履歴情報がクリアされます。その結果、以降のステップでは、当該ステップのひずみに対応する骨格曲線上の応力点と現応力との応力差を保持したまま骨格曲線が平行移動した状態となり、その平行移動した後の骨格曲線に基づいた履歴となります。(図 2)

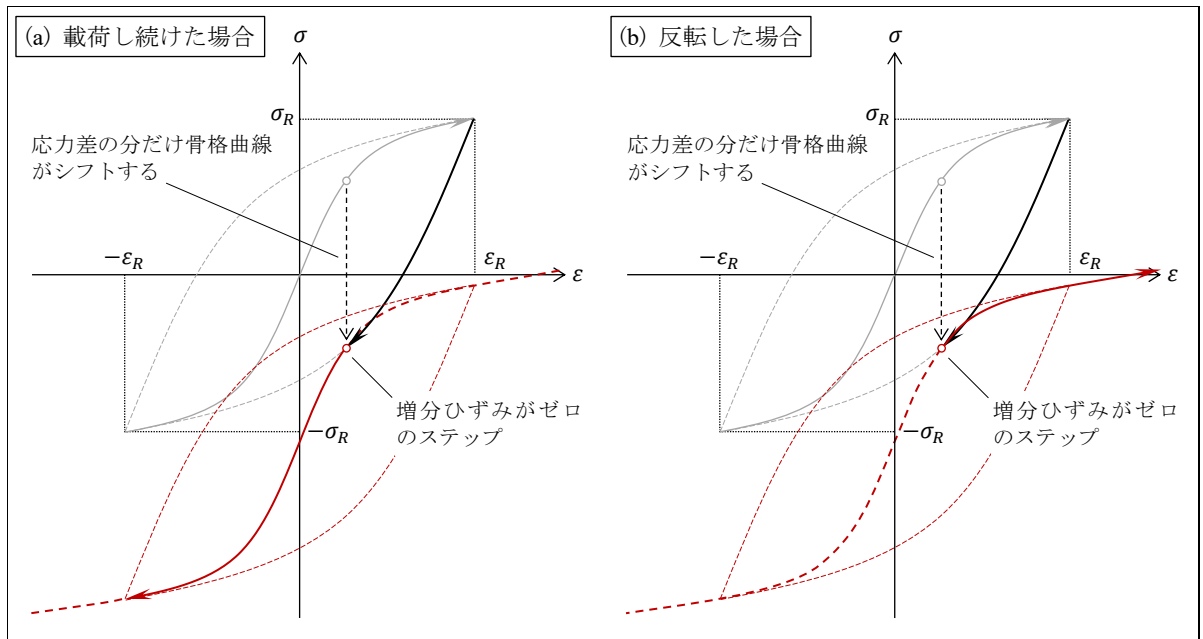


図 2 不具合発生時の応力-ひずみ関係（シェル系要素（平面ひずみ要素）の場合）

### 1.1.2. 発生条件

以下のいずれかの条件に該当する履歴曲線上を移動中に、当該要素の増分ひずみがゼロになった場合に不具合が発生します。

ケース 1) 正側の骨格曲線上に折り返し点を有し、内部ループを持たない履歴曲線（図 3(a)）

ケース 2) 負側の骨格曲線上に折り返し点を有し、かつ内部ループ上にも折り返し点を 1 点のみ有する履歴曲線（図 3(b)）

ただし、GHE-S モデル（タイプ番号：54、93、97、733、737）については、Ver.3.09.01 以降はケース 1) の条件でのみ発生します。Ver.3.09.01 より前のバージョンでは、ケース 1) およびケース 2) の両条件で発生します。

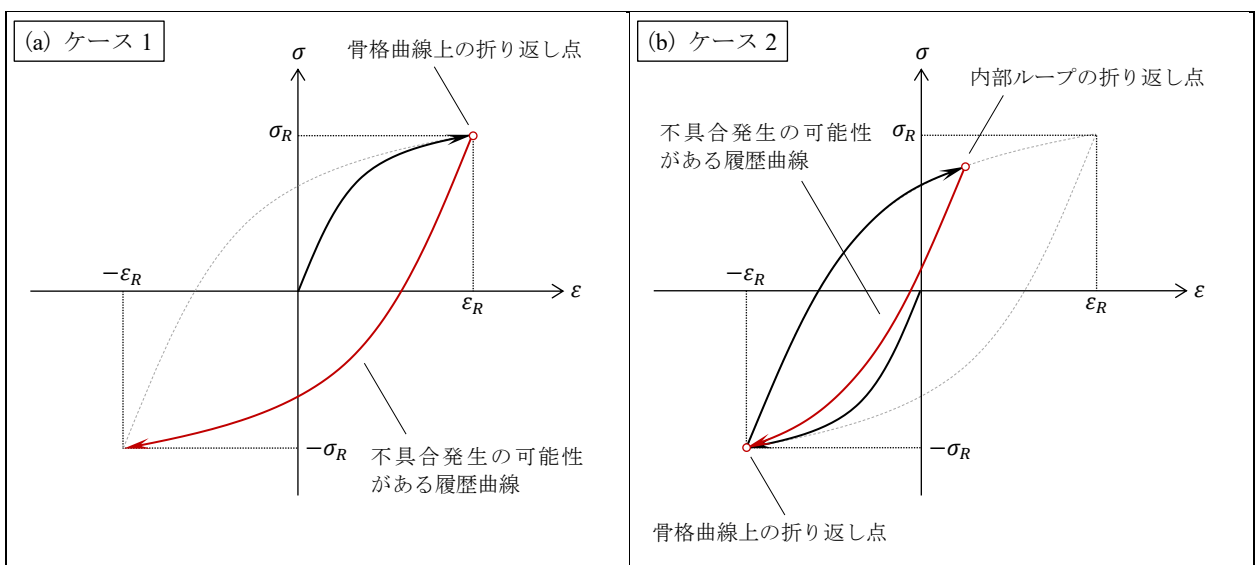


図 3 項番 1 の不具合発生条件

### 1.1.3. 補足事項

本不具合は、解析の第1ステップにおいても発生します。たとえば以下の2つの条件に合致する場合、不具合が発生します。

- ・初期状態指定データ (INITIAL) で INFL=1 または 2 を指定し、初期状態ファイル (#17) から発生条件に該当する履歴情報を引き継いだ非線形要素がある
- ・第1ステップの荷重がゼロである (荷重がゼロであると増分ひずみもゼロになるため)

例外として、 $\tau$ - $\gamma$  曲線モデル (タイプ番号: 78, 89, 93) および3次元  $\tau$ - $\gamma$  曲線モデル (タイプ番号: 718, 729, 733) を適用した要素については、第1ステップの荷重がゼロでなくても、以下の2つの条件に合致する場合、不具合が発生します。この時の履歴は  $\tau$ - $\gamma$  曲線モデルであっても図1のようになります。

- ・初期状態指定データ (INITIAL) で INFL=1 または 2 を指定し、初期状態ファイル (#17) から発生条件に該当する履歴情報を引き継いだ非線形要素がある
- ・初期状態指定データ (INITIAL) で、非線形要素の初期残差力の処理方法を「せん断方向の初期残差力が直方向に影響しない」 (IRSIG=1) としている (IRSIG は Ver.3.09.01 で機能追加)

## 1.2. 項番2

本不具合に該当する可能性のある材料非線形モデルのタイプ番号と適用可能要素は表2の通りです。

表2 項番2に該当する可能性のある材料非線形モデル

タイプ番号	材料非線形モデル名	適用可能要素
96	多重せん断バネモデル (修正 GHE)	PL-STRAIN, SBOUND2D
97	多重せん断バネモデル (GHE-S)	

### 1.2.1. 内容

表2に示す材料非線形モデル (多重せん断バネモデル) において、各バネの減衰特性を算出する際のひずみエネルギーが、GHE モデルではなく Hardin-Drnevich モデルの骨格曲線に基づいて計算されています。また、設定条件によっては、減衰特性を決定する連立方程式の解の精度が不足する場合があります。これらの要因により、 $h$ - $\gamma$  関係が適切にモデル化されない可能性があります。

### 1.2.2. 発生条件

表2に示す材料非線形モデルを適用し、履歴曲線タイプを「履歴減衰による等価減衰定数が  $h$ - $\gamma$  関係を満足するように調整 (NP3=1)」と設定した要素において発生します。

### 1.3. 項番 3

本不具合に該当する可能性のある材料非線形モデルのタイプ番号と適用可能要素は表 3 の通りです。

表 3 項番 3 に該当する可能性のある材料非線形モデル

タイプ番号	材料非線形モデル名	適用可能要素
717	3次元独立 $\tau$ - $\gamma$ 曲線モデル (修正 Ramberg-Osgood)	BRICK8, BRICK20, SBOUND3DS, SBOUND3DC

#### 1.3.1. 内容

表 3 に示す材料非線形モデルを適用した要素において、応力-ひずみ関係の履歴追跡中に解析が異常終了する、または当該要素の応力-ひずみ関係が正しく計算されない可能性があります。

#### 1.3.2. 発生条件

表 3 に示す材料非線形モデルを適用した要素を含む解析において発生する可能性があります。本不具合は変数の未初期化に起因するものであり、発生の有無は実行環境や解析条件に依存します。そのため、明確な発生条件は特定できていません。

### 1.4. 項番 4

本不具合に該当する可能性のある材料非線形モデルのタイプ番号と適用可能要素は表 4 の通りです。

表 4 項番 4 に該当する可能性のある材料非線形モデル

タイプ番号	材料非線形モデル名	適用可能要素
54	GHE-S モデル	SPRING, SPRING1, SPRING2
93	$\tau$ - $\gamma$ 曲線モデル (GHE-S)	PL-STRAIN, SBOUND2D
97	多重せん断バネモデル (GHE-S)	
733	3次元独立 $\tau$ - $\gamma$ 曲線モデル (GHE-S)	BRICK8, BRICK20, SBOUND3DS, SBOUND3DC
737	3次元多重せん断バネモデル (GHE-S)	

#### 1.4.1. 内容

表 4 に示す材料非線形モデルにおいて、履歴曲線上の接線剛性の計算式に誤りがあります。なお、履歴曲線上の応力-ひずみ関係は正しく計算されています。

#### 1.4.2. 発生条件

表 4 に示す材料非線形モデルを適用し、履歴曲線タイプを「標準の相似比 ( $\lambda=2$ )」以外に設定した要素において、応力-ひずみ関係が履歴曲線上を移動する場合に発生します。

## 2. 開発時期

本資料で報告した不具合が発生する材料非線形モデルのリリース時期および対応する TDAPIII のバージョンを表 5 に示します。

表 5 材料非線形モデルの開発時期

日付	内容	追加非線形モデル (不具合該当モデルのみ)
2008/06/30	TDAPIII Ver.3.01.01 リリース	タイプ 52 : 修正 GHE モデル タイプ 78 : $\tau$ - $\gamma$ 曲線モデル (修正 GHE)
2012/04/27	TDAPIII Ver. 3.04.01 リリース	タイプ 53 : 吉田モデル タイプ 89 : $\tau$ - $\gamma$ 曲線モデル (吉田モデル)
2013/04/15	TDAPIII Ver.3.05.01 リリース	タイプ 54 : GHE-S モデル タイプ 93 : $\tau$ - $\gamma$ 曲線モデル (GHE-S)
2014/05/30	TDAPIII Ver.3.06.01 リリース	タイプ 717 : 3 次元独立 $\tau$ - $\gamma$ 曲線モデル (修正 Ramberg-Osgood) タイプ 718 : 3 次元独立 $\tau$ - $\gamma$ 曲線モデル (修正 GHE) タイプ 729 : 3 次元独立 $\tau$ - $\gamma$ 曲線モデル (吉田モデル) タイプ 733 : 3 次元独立 $\tau$ - $\gamma$ 曲線モデル (GHE-S)
2015/06/03	TDAPIII Ver.3.07.01 リリース	タイプ 96 : 多重せん断バネモデル (修正 GHE) タイプ 97 : 多重せん断バネモデル (GHE-S)
2018/08/31	TDAPIII Ver.3.10.01 リリース	タイプ 736 : 3 次元多重せん断バネモデル (修正 GHE) タイプ 737 : 3 次元多重せん断バネモデル (GHE-S)

ご確認のほどよろしくお願ひ致します。

ユーザー各位におかれましては、ご迷惑をおかけして大変申し訳ありません。ご不明な点などございましたら、弊社までご連絡いただきますようお願い申し上げます。

株式会社アーク情報システム  
TDAPIII 担当  
TEL: 03-3234-9238  
E-Mail: [tdap@ark-info-sys.co.jp](mailto:tdap@ark-info-sys.co.jp)