



## 第12章 履歴モデル (Ver. 3.00)

本章では、SPACE で使用されている履歴モデルについて説明する。現在、SPACE に組み込まれている部材の履歴モデルとして、

### 12.1 履歴モデル

- 1) バイリニア型
- 2) トリリニア型
- 3) 最大点指向型
- 4) 武田モデル
- 5) 修正バイリニア型
- 6) 修正 RO モデル
- 7) スリップバイリニア型
- 8) 個材座屈を考慮したトラス型

があり、また、ファイバー要素の履歴モデルとしては、

- 1) 対称バイリニア型
- 2) 対称トリリニア型(将来拡張予定)
- 3) 直線コンクリート型
- 4) 曲線コンクリート型(将来拡張予定)
- 5) 対称バイリニア型 (移動+等方硬化) (将来拡張予定)
- 6) 対称トリリニア型 (移動+等方硬化) (将来拡張予定)
- 7) 非対称バイリニア型(将来拡張予定)
- 8) 非対称トリリニア型(将来拡張予定)

である。

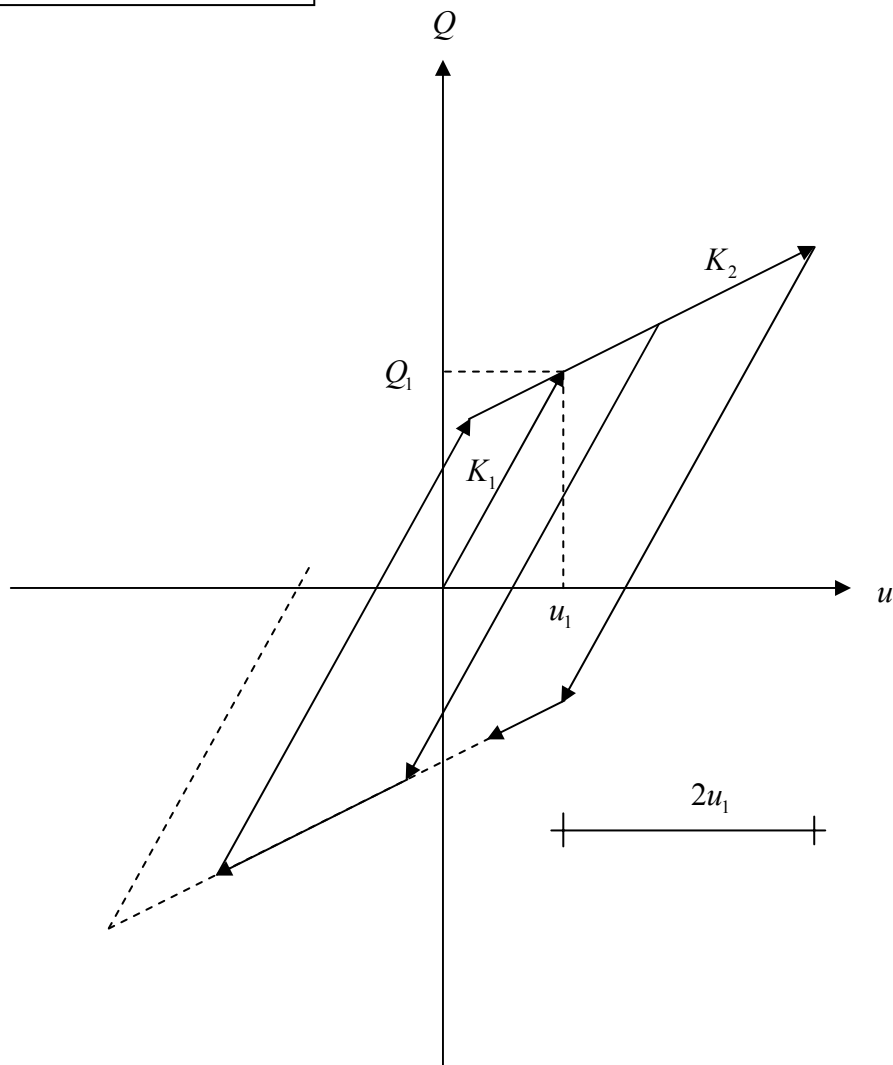
SPACE における履歴モデルの組み込みは容易である。今後も、履歴モデルを必要に応じて増やしていく予定である。

12.1.1 バイリニア  
ア型

## 対称バイリニア型履歴ルール

スケルトンカーブが バイリニアで Masing 則に従う履歴ループ

履歴ループをモデル化する場合の入力パラメータ

 $Q_1$  : 降伏せん断力 $K_1$  : 初期剛性 $K_2$  : 第2 剛性

## 12.1.2 トリリニア型

トリリニア型の履歴ルールを述べる。

スケルトンカーブが トリリニアで Masing 則に従う履歴ループ

履歴ループをモデル化する場合の入力パラメータ

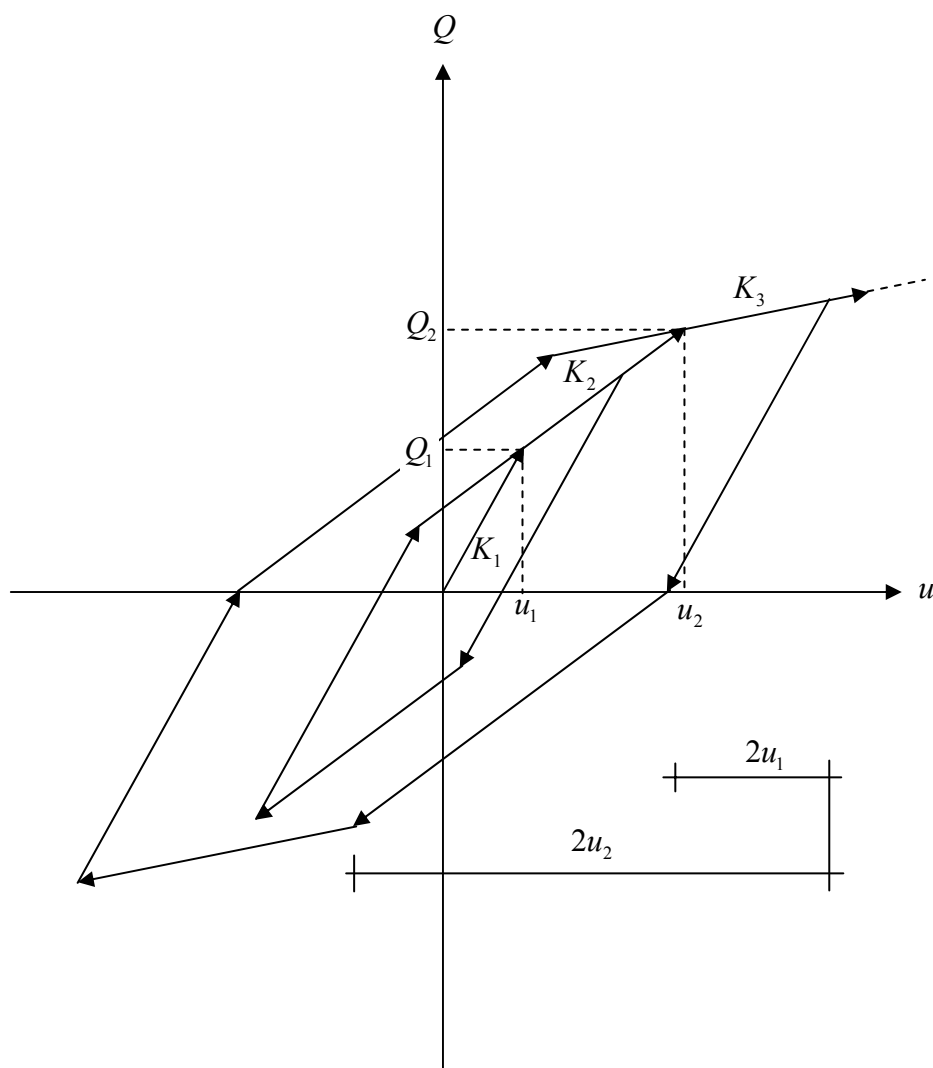
$Q_1$  : 第1降伏せん断力

$Q_2$  : 第2降伏せん断力

$K_1$  : 初期剛性

$K_2$  : 第2剛性

$K_3$  : 第3剛性



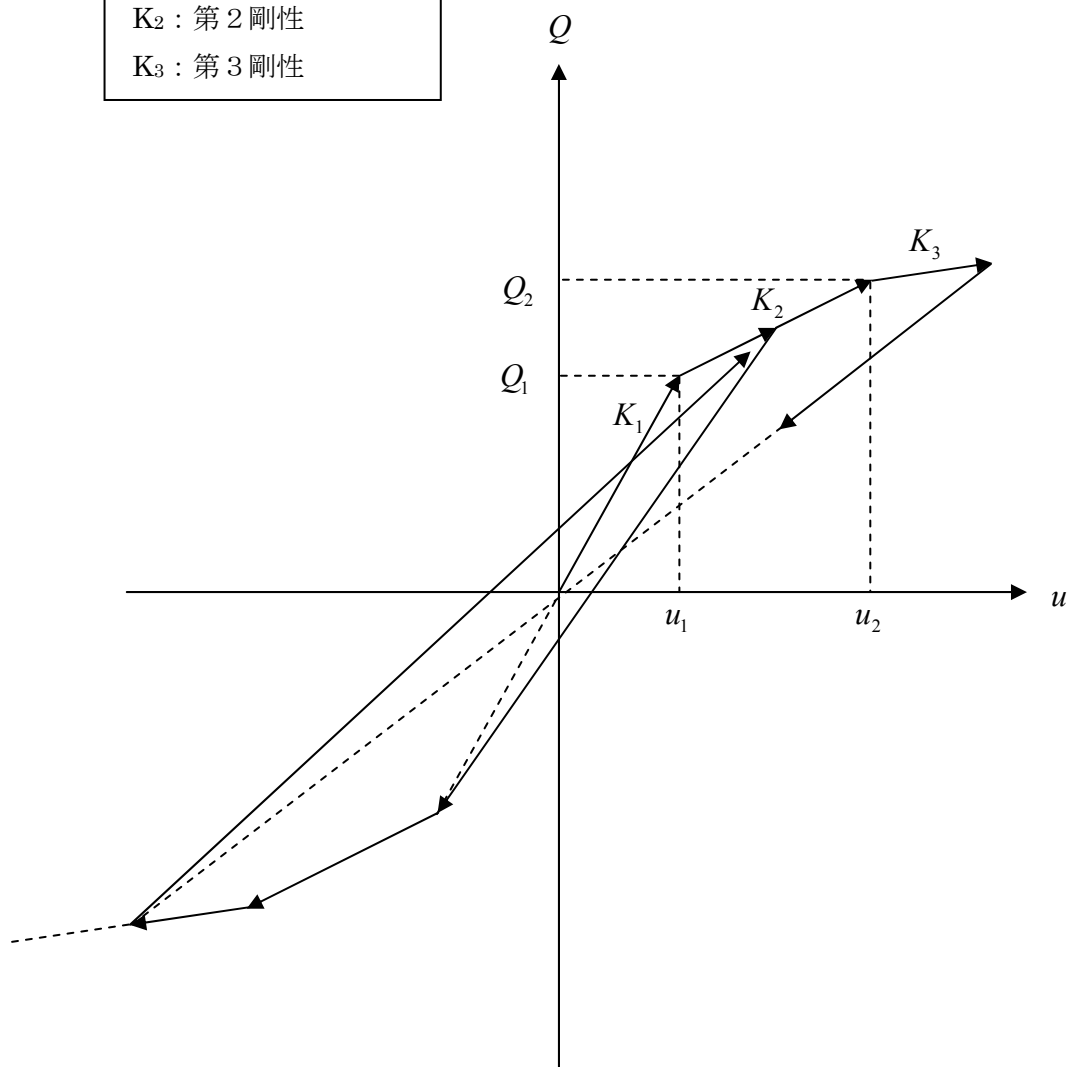
## 12.1.3 最大点指向型

最大点指向型の履歴ルールを説明する。

1. スケルトンカーブは トリリニア型である。
2. 初めて一方の変位が  $u_1$  を超えて折り返した場合は、反対側の第1降伏点を目指す。
3. 変位が共に  $u_1$  を超えて折り返した場合は、反対側の最大変形点を目指す。

履歴ループをモデル化する場合の入力パラメータ

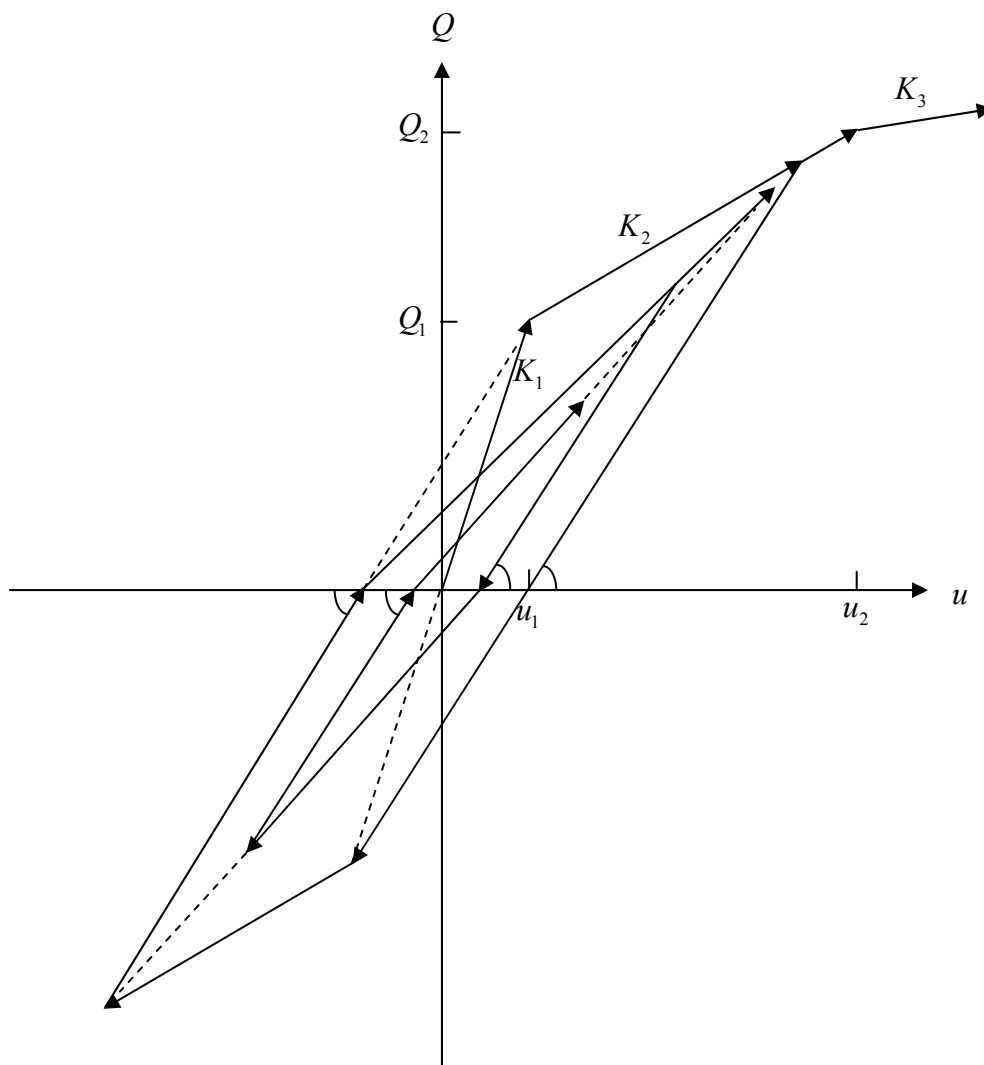
$Q_1$  : 第1降伏せん断力  
 $Q_2$  : 第2降伏せん断力  
 $K_1$  : 初期剛性  
 $K_2$  : 第2剛性  
 $K_3$  : 第3剛性



## 12.1.4 武田モデル

武田モデルの履歴ルールについて説明する。

1. スケルトンカーブは **Tri-linear** である。
2.  $|u_{\max}| < u_1$  の場合は、原点を通る勾配  $K_1$  の直線上を動く。
3. a)  $u$  が  $u_1$  を超えた場合は、第2勾配  $K_2$  の直線上を動く。  
 b) この直線から折り返した場合は、反対側の第1降伏点を目指す。  
 c) 反対側の最大変形が弾性域の場合、この剛性域の範囲は、反対側の第1降伏点までとする。  
 d) 反対側の最大変形が  $u_1$  を超えている場合は、この剛性域の範囲は復元力が0となる点までとする。この0点を超えた場合は、反対側の最大変形点を目指す。  
 e) 最大変形点を超えた場合は、第2勾配  $K_2$  の直線上を動く。



4. a)  $u$  が  $u_2$  を超えた場合は、第3勾配  $K_3$  の直線上を動く。  
 b) この直線から折り返した場合は、次式に示す勾配  $K_d$  の直線上を動く。

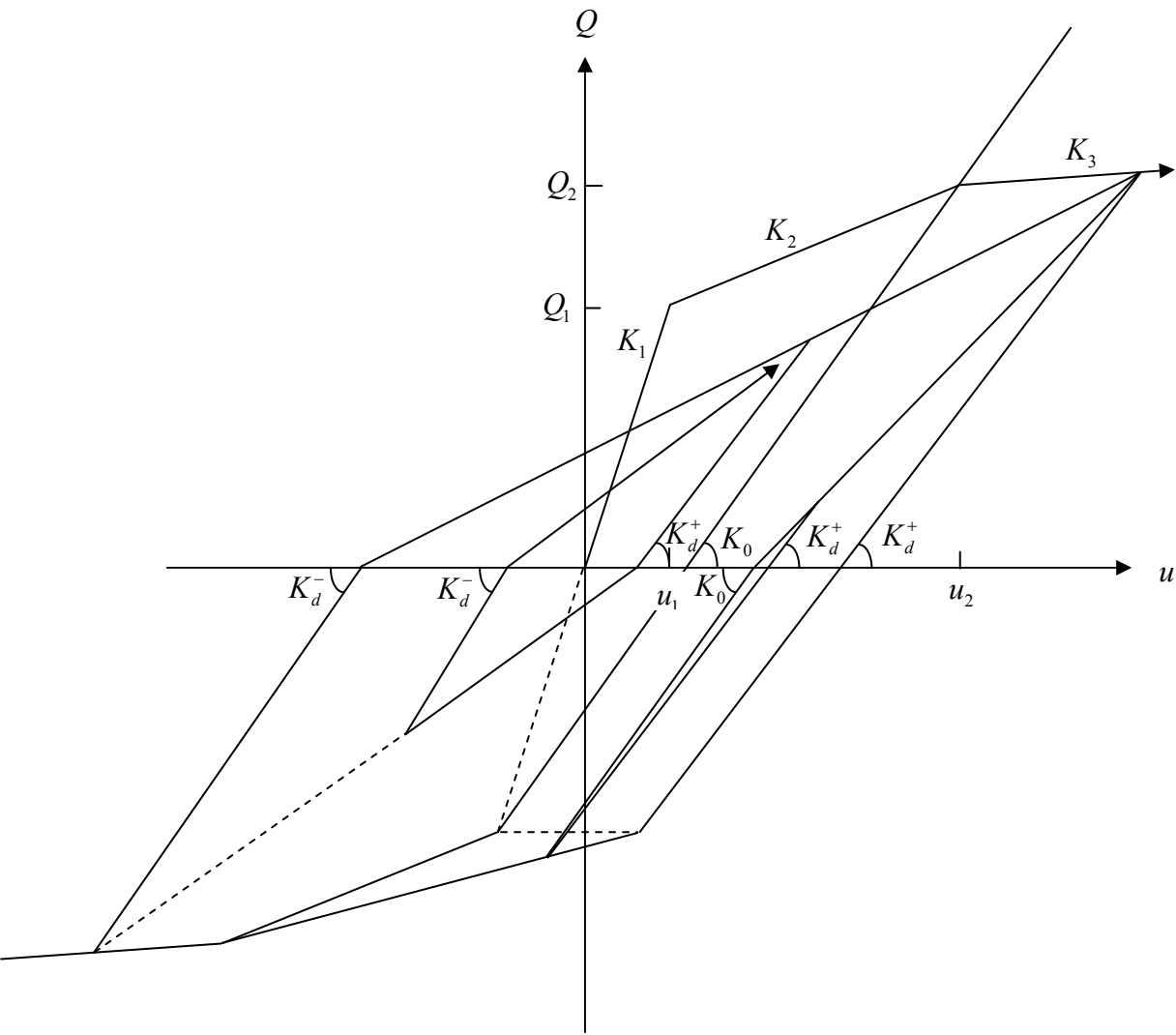
$$K_d^{\pm} = K_0 \times \left| \frac{u_{\max}^{\pm}}{u_2} \right|^{\alpha}$$

$K_d$  : 戻り勾配 (第2降伏点を超えた場合)  
 $K_0$  : 戻り勾配 (第2降伏点を超えない場合)

- c) 反対側の最大変形が  $u_1$  を超えていない場合、勾配  $K_d$  の範囲は、反対側の  $Q_1$  までとする。この  $Q_1$  を超えた場合は、第2降伏点を目指す。
- d) c)において、第2降伏点を目指す直線上から折り返した場合は、勾配  $K_0$  の直線上を動く。さらに復元力が0点を超える場合は、最大変形点を目指す。この最大変形点を目指す直線上から折り返した場合は、上式で求められる勾配  $K_d$  上を動き、復元力が0点を超えると、反対側の最大変形点を目指す。
- e) 反対側の最大変形が  $u_1$  を超えている場合、勾配  $K_d$  の範囲は、復元力が0となる点までとする。この0点を超えた場合は、最大変形点を目指す。
- f) e)において、最大変形点を目指す直線上から折り返した場合は、勾配  $K_d$  の直線上を動く。さらに復元力が0点を超える場合は、最大変形点を目指す。この最大変形点を目指す直線上から折り返した場合も、勾配  $K_d$  上を動き、復元力が0点を超えると、内部ループの最大変形点を目指す。

履歴ループをモデル化する際の入力パラメータ

$Q_1$  : 第1降伏せん断力  
 $Q_2$  : 第2降伏せん断力  
 $K_1$  : 初期剛性  
 $K_2$  : 第2剛性  
 $K_3$  : 第3剛性  
 $\alpha$  : 上記 b)の戻り勾配を決めるためのパラメータ



12.1.5 修正バイ  
リニアモデル

修正バイリニアモデルの履歴ルールについて説明する。

1. スケルトンカーブ・等価剛性  $k_{eq}$  は次式で与えられる。

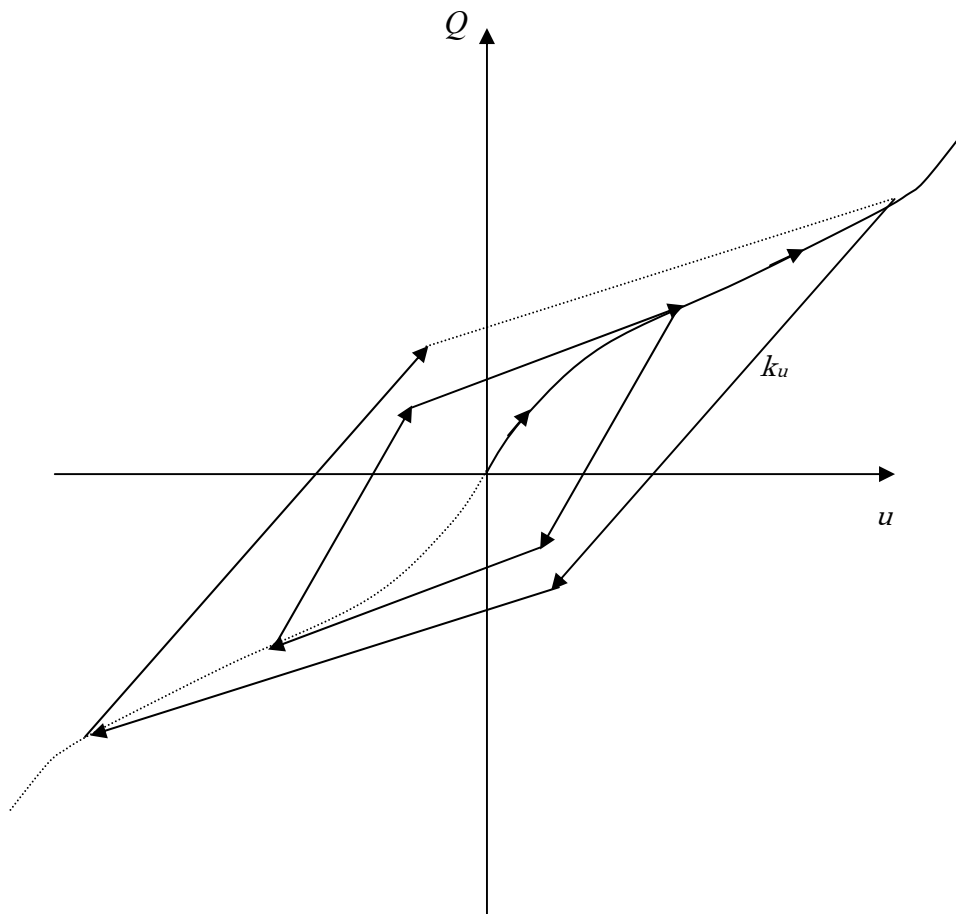
$$\begin{aligned} k_{eq} &= 0.664\gamma^{-0.3} & (0 < \gamma \leq 0.4429) \\ &= 0.5506\gamma^{-0.3} & (0.4429 < \gamma) \end{aligned}$$

ただし,  $\gamma = u / H_R$ ,  $u$  は水平相対変位,  $H_R$  は積層ゴム総厚さ

2. 歪みレベルに対応する等価減衰定数  $h_{eq}$  は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} h_{eq} &= 0.08 + 0.6\gamma & (0 < \gamma \leq 0.10) \\ &= 0.14 + 0.143(\gamma - 0.10) & (0.10 < \gamma \leq 0.45) \\ &= 0.19 - 0.05(\gamma - 0.45) & (0.10 < \gamma \leq 0.45) \\ &= 0.15 & (0.45 < \gamma) \end{aligned}$$

3. 初期荷重時はスケルトンカーブ上を動く。
4. スケルトンカーブから除荷される場合, 除荷第一剛性  $k_u$  は  $k_u = 4.0 \cdot k_{eq}$  で与えられ, 各振幅レベルの Bi-liner 履歴曲線は等価減衰定数  $h_{eq}$  を満たすものとする。
5. 履歴曲線から除荷される場合は, Bi-liner と同じ。





12.1.6 修正 R-O  
モデル

修正 R-O モデルの履歴ルールについて説明する。

1. 等価剛性  $G_0$ , 等価減衰定数  $h_{eq}$  は次式で与えられる。

$$G_0(\gamma) = 26.3 - 46.0\gamma + 45.7\gamma^2 - 21.2\gamma^3 + 3.88\gamma^4$$

$$h_{eq}(\gamma) = (17.2 - 0.69\gamma + 0.28\gamma^2 - 0.69\gamma^3) \times 10^{-2}$$

ただし,  $\gamma = u / H_R$ ,  $u$  は水平相対変位,  $H_R$  は積層ゴム総厚さ

2. 等価剛性  $G_0$ , 等価減衰定数  $h_{eq}$  に対応するスケルトンカーブおよびブランチカーブは次式で与えられる。

スケルトンカーブ

$$F = \frac{G_0(\gamma) \cdot A_R}{H_R} \cdot u$$

ただし,  $A_R$  は積層ゴム断面積

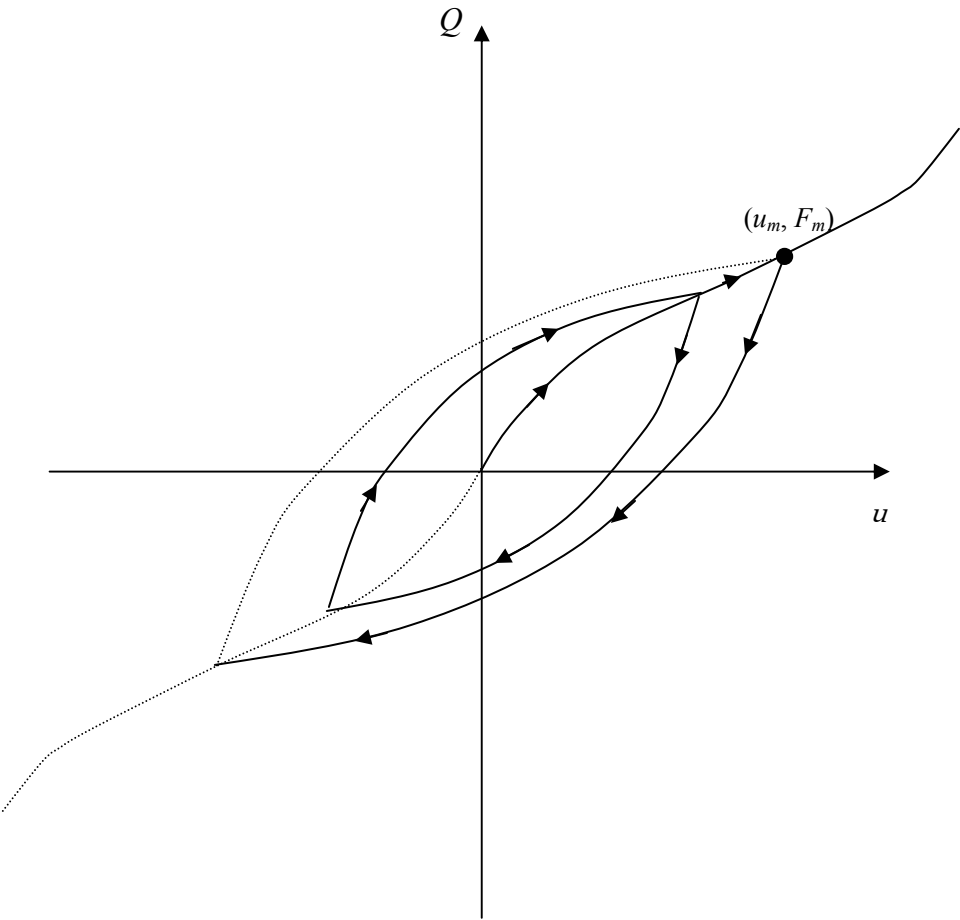
ブランチカーブ

$$\beta(\gamma_m) \frac{u - u_m}{2} = \frac{F - F_m}{2} \left( 1 + \alpha(r_m) \left| \frac{F - F_m}{2} \right|^5 \right)$$

ここで,  $\alpha(r_m)$ ,  $\beta(\gamma_m)$  はスケルトンカーブからの除荷時 ( $u_m$ ,  $F_m$ ) の歪み  $\gamma_m = u_m / H_R$  を次式に代入して得られる定数

$$\alpha(r_m) = F_m^{-5} \left( \frac{5}{5 - 0.5\pi \cdot 5h_{eq}(r_m)} - 1 \right)$$

$$\beta(\gamma_m) = \frac{5}{5 - 0.5\pi \cdot 5h_{eq}(r_m)} \frac{G_0(\gamma_m) A_R}{H_R}$$

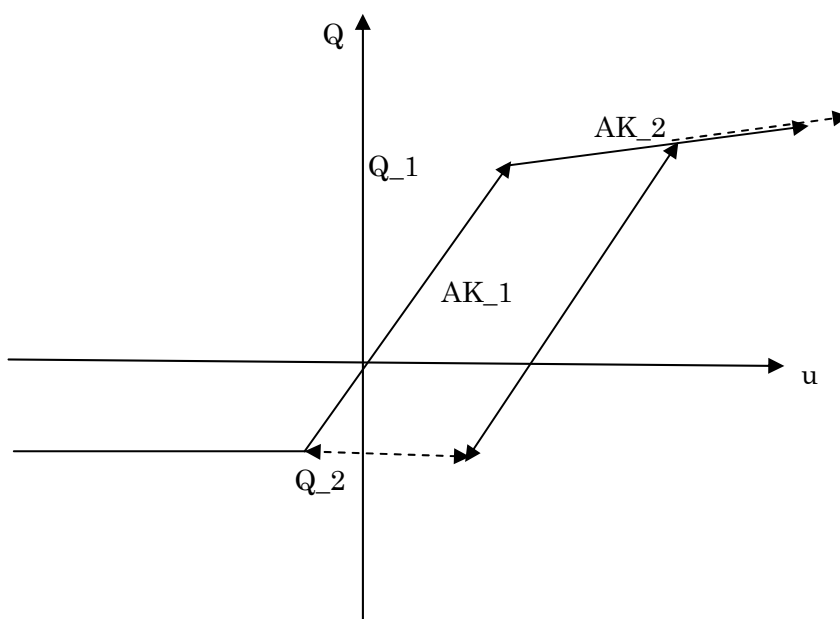


12.1.7スリップバ  
イリニア型

スリップバイリニアの履歴ルールについて説明する。

履歴ループをモデル化する場合の入力パラメータ

AK_1 : 第一剛性 (kN/cm)
AK_2 : 第二剛性 (kN/cm)
Q_1 : 引張第一折れ点 (kN)
Q_2 : 圧縮第一折れ点 (kN)

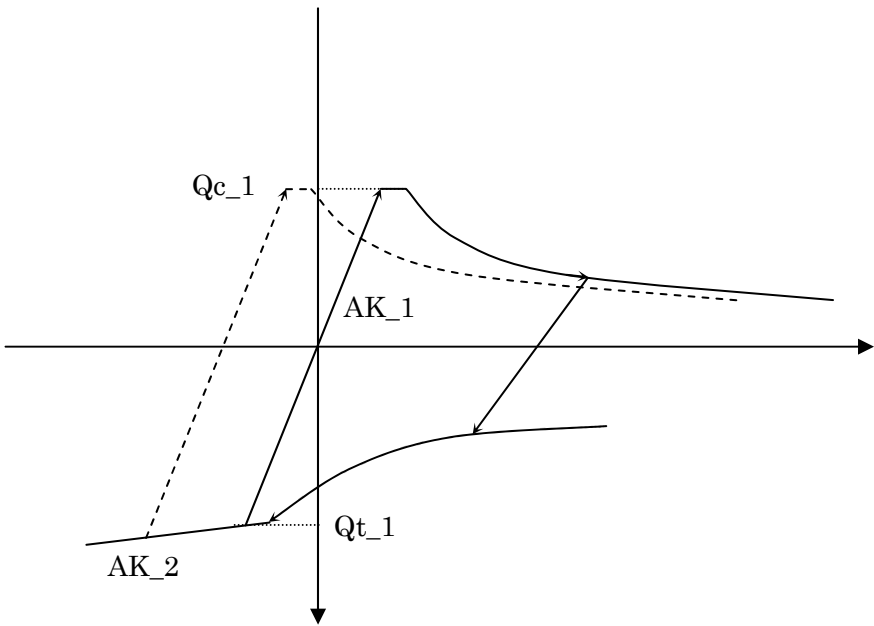


12. 1. 8 個材座屈を  
考慮したトラス型

個材座屈を考慮したトラス型の履歴ルールについて説明する。

履歴ループをモデル化する場合の入力パラメータ

弾性係数	E_1
第二弾性係数	E_2
断面積	A
弱軸周り断面二次モーメント	Iy
降伏応力度	Sigma
第一剛性	AK_1
	$\left( AK\_1 = \frac{E\_1 \cdot A}{\ell} \right)$
第二剛性	AK_2
	$\left( AK\_2 = \frac{E\_2 \cdot A}{\ell} \right)$
圧縮折れ点	Qc_1
	$Qc\_1 = Min\left( \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}, sigma \cdot A \right)$
引張折れ点	Qt_1
	$(Qt\_1 = sigma \cdot A)$
細長比	Ramda



ファイバーに関する履歴ルールについて説明する。ここでは、バイリニア型の履歴モデルについて説明する。

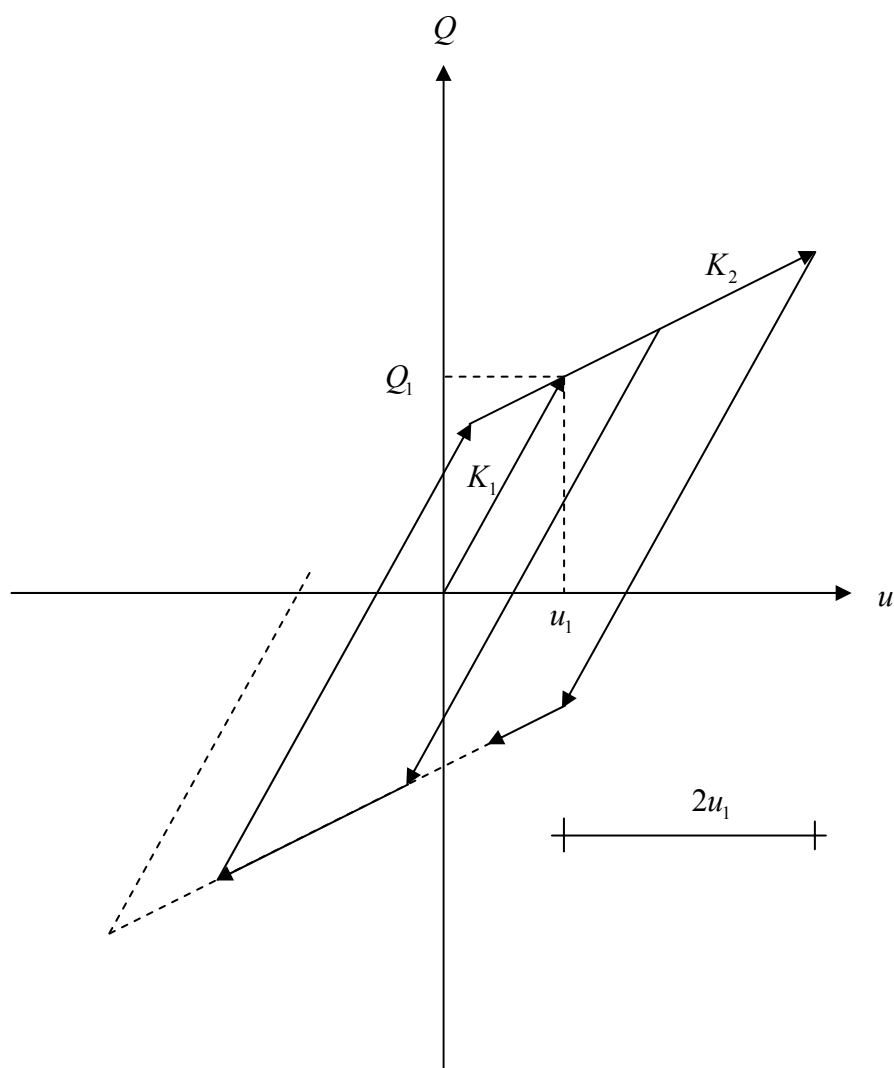
$Q_1$  : 降伏せん断力

$K_1$  : 初期剛性

$K_2$  : 第2剛性

## 12.2 ファイバーの履歴モデル

### 12.2.1 対称バイリニア型



12.2.2 直線コン  
クリート型

ファイバーに関する履歴ルールで、直線コンクリート型の履歴モデルについて説明する。

圧縮と引張の第一勾配	AK_1
圧縮第二勾配	AK_2
圧縮第三勾配	AK_3
引張第二勾配	AK_4
引張強度	Q_1
圧縮側第一折れ点の応力	Q_2
圧縮強度	Q_3
圧縮流れ点	Q_4

