

# 樹木の成長応力を参考にした建築構造計画の検討

1024288741 寺辻奏芽

## Introduction1 建築物の巨大化

大空間構造・超高層建築においては大きな荷重が想定されるため、その構造的安全性の担保は困難であるが、様々な構造システムが現在それを可能にしている。しかしながら、現在の技術のみでは建築物の巨大化には限界があり、新たな構造システムの提案が必要視されている。

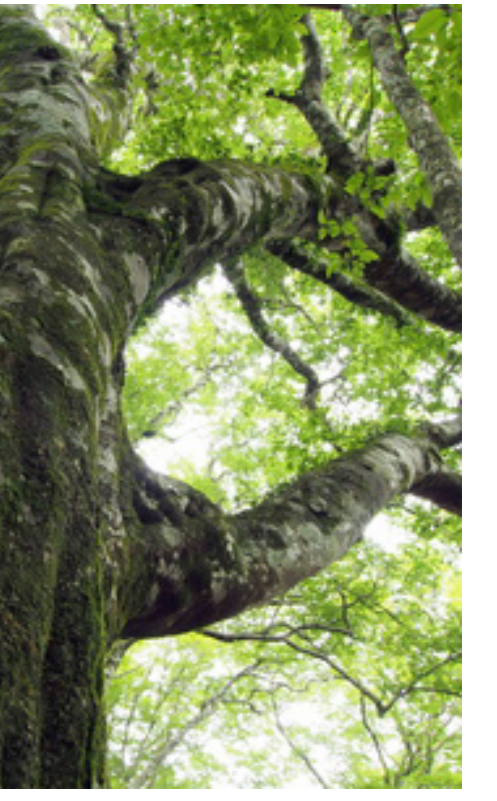
部材の細い鋼構造物などでは、座屈現象の存在により、その圧縮耐力は引張耐力に比べて小さい。したがって、より大規模な建築を造るには、部材に作用する大きな圧縮応力を低減させる必要がある。



## Introduction2 樹木の巨大化・・・成長応力とあて材

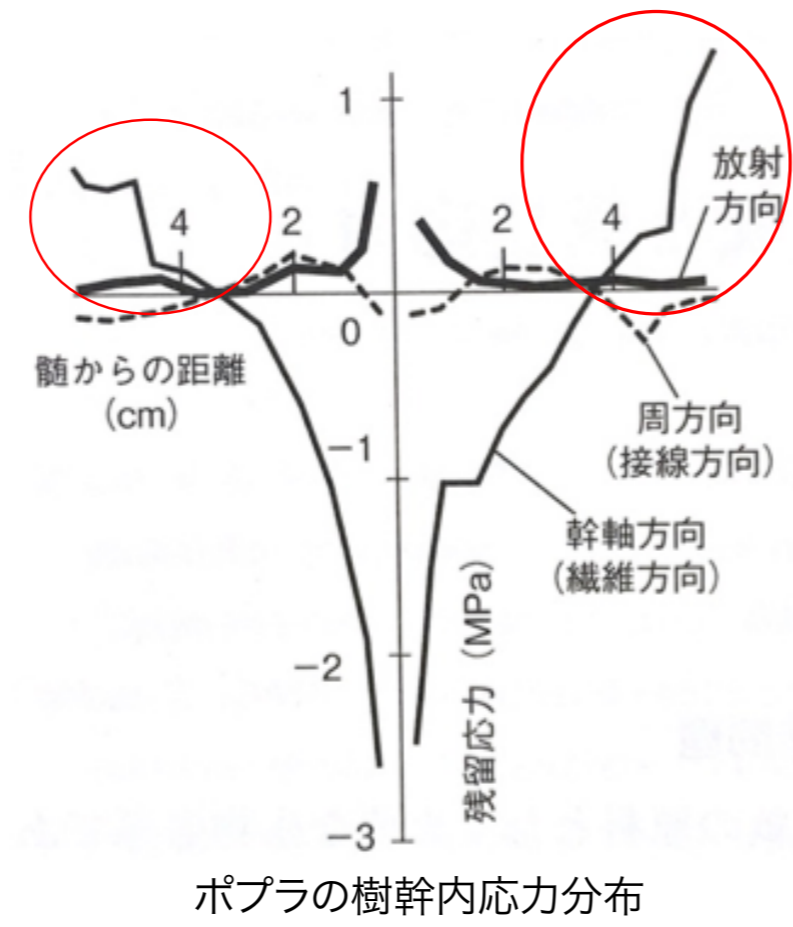
### 樹木の巨大化戦略

建築物がさらなる巨大化を遂げてきたように、樹木も他の競合種よりも有利な条件に立つための手段として、巨大化を選択してきた。しかし、巨大化の結果として、自重による大きな圧縮力、広がった枝葉の重みによる大きなモーメント、風荷重などの作用が想定される。圧縮強度が引張強度に比べて著しく小さい樹木にとって、こういった外力による大きな圧縮応力は脅威となり得る。巨大化の副作用ともいえる大きな圧縮への対策として、樹木は「成長応力」ならびに「あて材」という独自のシステムを採用している。



### 成長応力

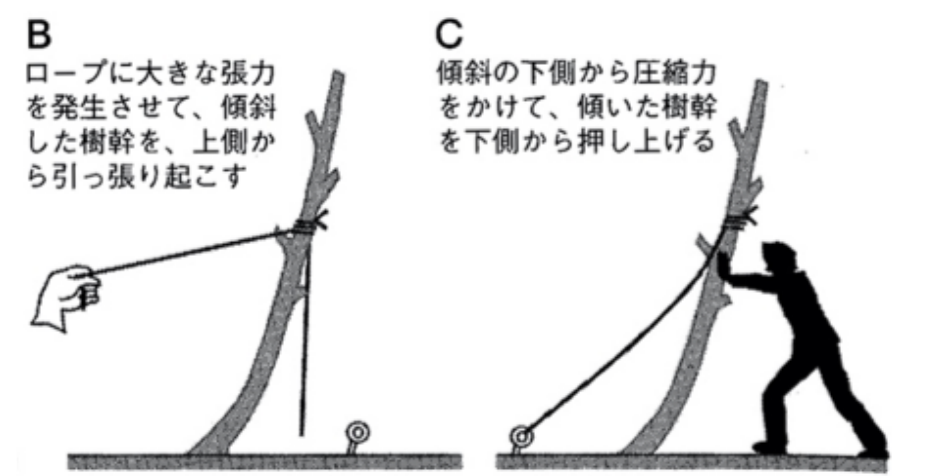
樹木の肥大成長により生じた若い(やわらかい)木部では、木質化(硬化)の際に寸法変化が生じる。その寸法変化により生じる応力を成長応力という。成長応力の発生に伴って既存の木部で応力変化が生じ、成長過程でそれが蓄積し、樹幹内に3次元応力分布が発生する。正常な材では、外側で軸方向引張応力、内側で軸方向圧縮応力が発生する。外周での軸方向引張応力が樹体の安定や圧縮応力軽減に役立っている。



ポプラの樹幹内応力分布

### あて材

傾斜して生育する樹木では、あて材と呼ばれる部位が生じ、特異的に大きな成長応力が発生する。広葉樹は主に引張あて材を上側につくり、針葉樹は主に圧縮あて材を下側につくる。圧縮あて材には、傾斜の下側から圧縮力をかけて、樹木を押し上げる作用がある。引張あて材の作用は、ロープで引っ張り起こす働きと類似している。正常材の成長応力の約10倍程度のオーダーの応力が働いていることが知られているが、その発生メカニズムや内部での応力の様子についてはまだ研究段階である。



## Research Question

樹木が進化の過程で得た生存戦略を、建築構造に活かすことができるか?

## Method

Analysis1  
樹木の成長をモデル化し、樹幹内軸方向応力分布を導出

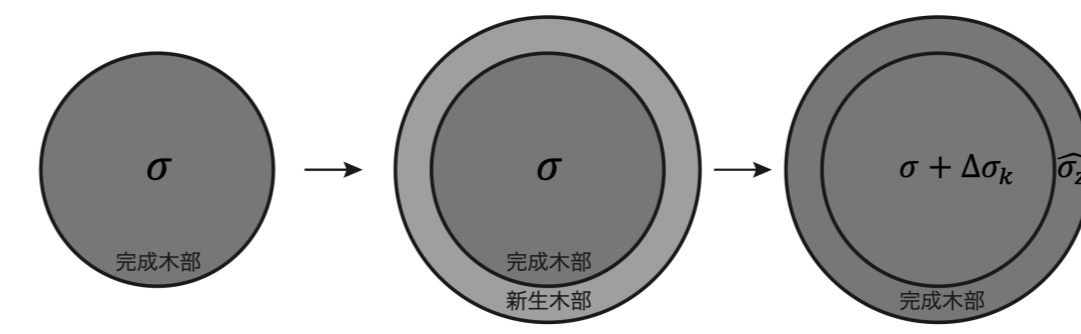


Analysis2  
導出された応力分布をもとにしたプレストレスの作用を考察

## Analysis1 樹幹内軸方向応力分布の導出

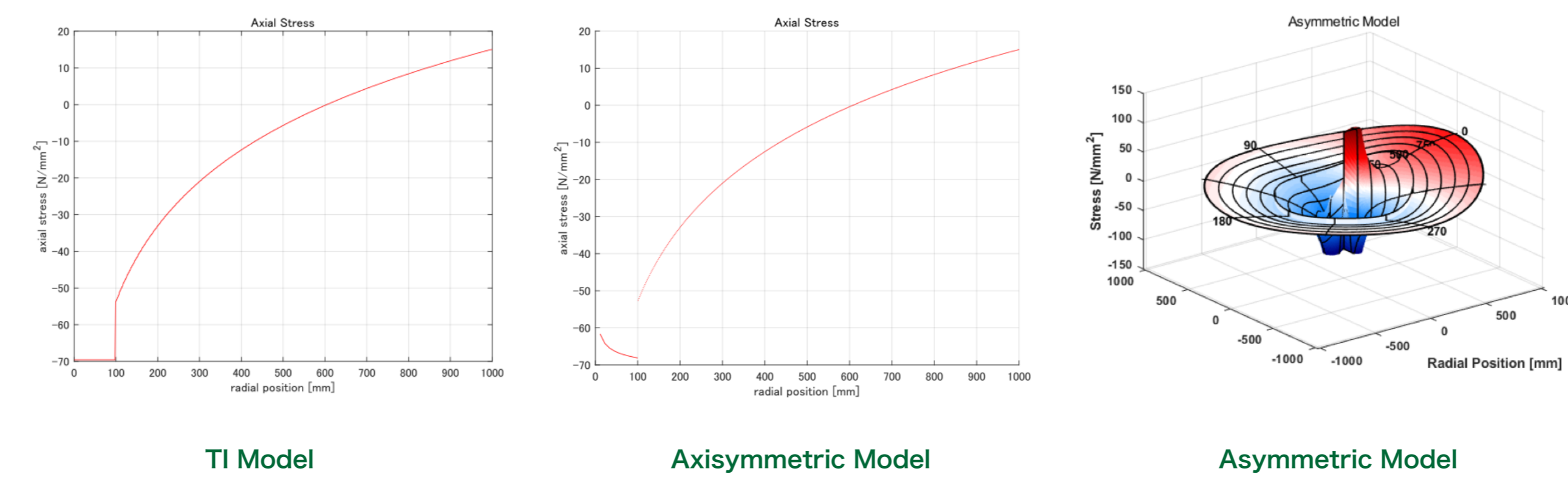
### 導出方法

樹木モデルとして、Transversely Isotropic モデル、Axisymmetric モデル、Asymmetric モデルの3つを仮定する。それぞれのモデルについて、成長を有限回のステップに分割し、各ステップで成長応力を発生させる。そして自己釣り合いから結果的に生じる応力増分を計算し、それを蓄積させ、樹幹内応力分布を導出する。



$$\sigma_{zi} = \begin{cases} \sum_{k=1}^N \Delta\sigma_k, & i=1 \\ \Delta\sigma_k + \hat{\sigma}_z, & 2 \leq i \leq N \\ \hat{\sigma}_z, & i=N+1 \end{cases}$$

### 各モデルでの結果



## Conclusion1

幹の外側で引張応力、内側で圧縮応力が作用している様子を再現できた。

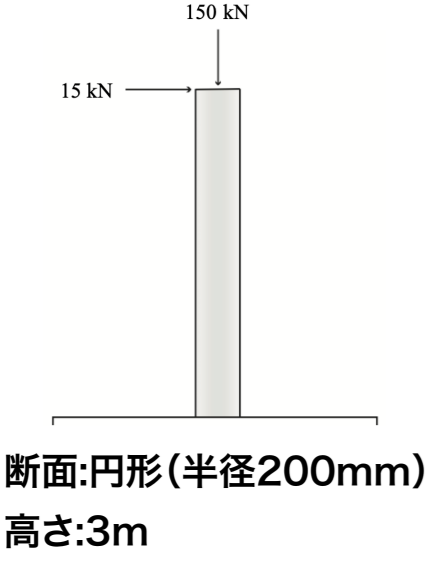
軸対象な応力分布を導出するのに用いたTIモデルとAxisymmetricモデルにおいては、その結果に大きな差がなく、軸方向応力分布の導出においては等方性材とみなすことが適当であった。Asymmetricモデルでは、あて材の影響を考慮した非対称分布が導出できた。

初期半径と最終半径の比を大きくすることで、外周部分の引張応力値はそのままに、中心における圧縮応力を減少させることも判明した。これは、半径比の操作により圧縮を負担する面積が増加し、その分応力のピークが緩和されているためであった。

以上より、樹幹内応力分布を様々な初期パラメータに対して生成することができた。

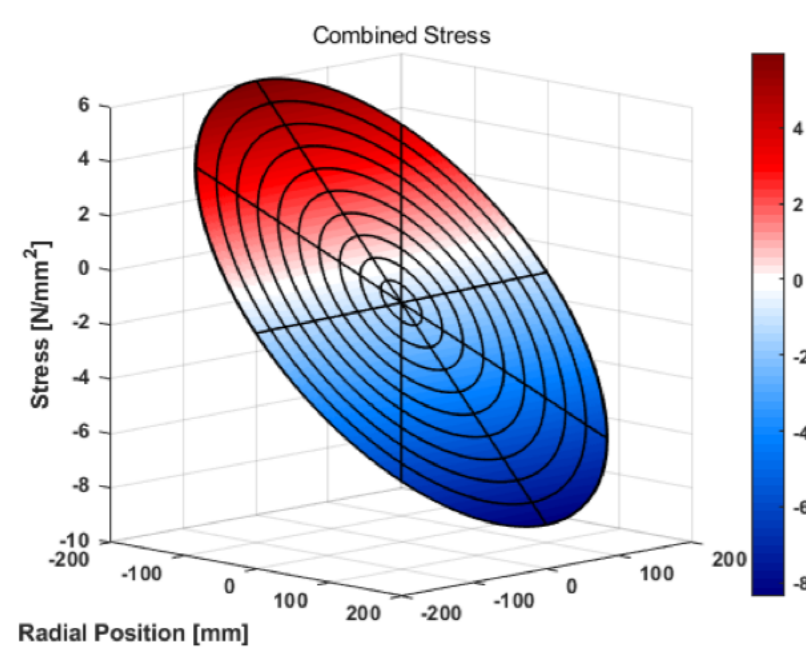
## Analysis2 成長応力を参考にした内部応力の建築への応用

### 構造の詳細



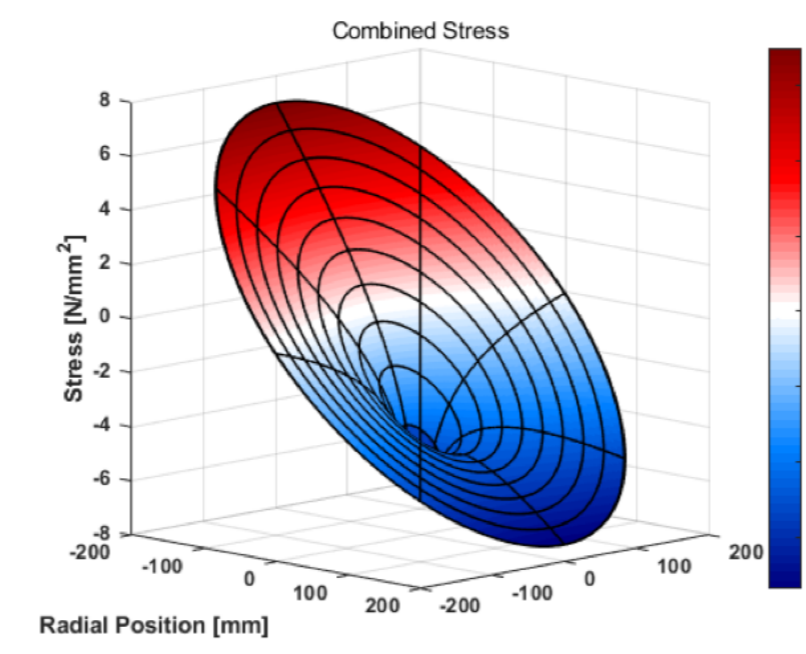
### 曲げと圧縮を受ける片持ち柱への応用

#### 柱脚での応力分布(プレストレスなし)



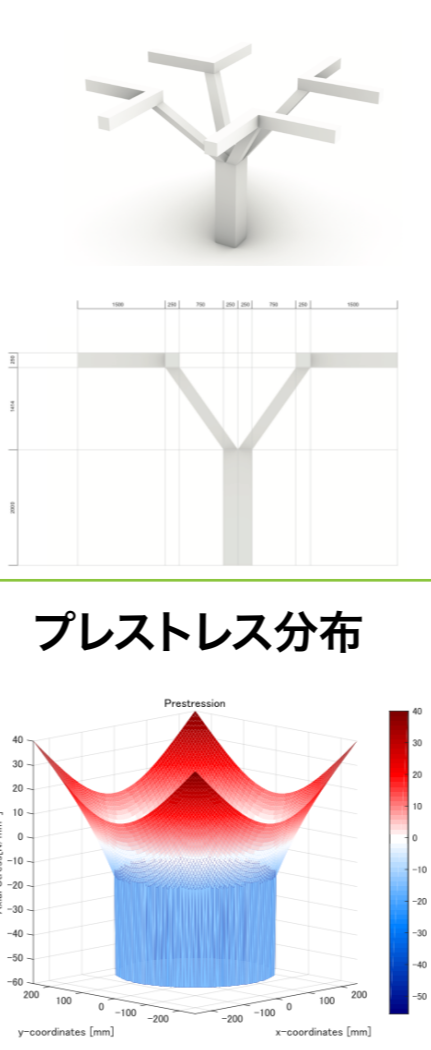
最大圧縮応力 8.36 [N/mm<sup>2</sup>]

#### 柱脚での応力分布(プレストレスあり)



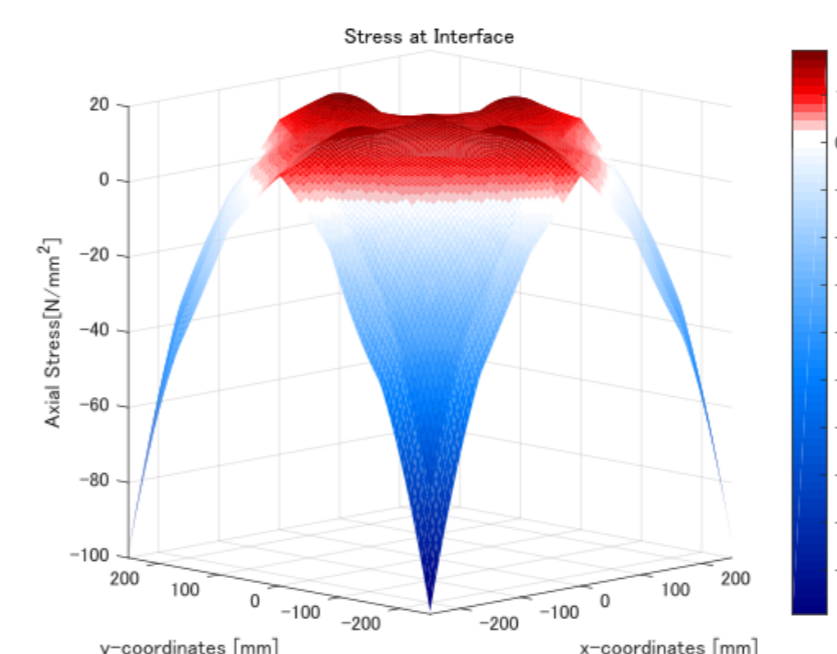
最大圧縮応力 7.36 [N/mm<sup>2</sup>]

### 構造の詳細



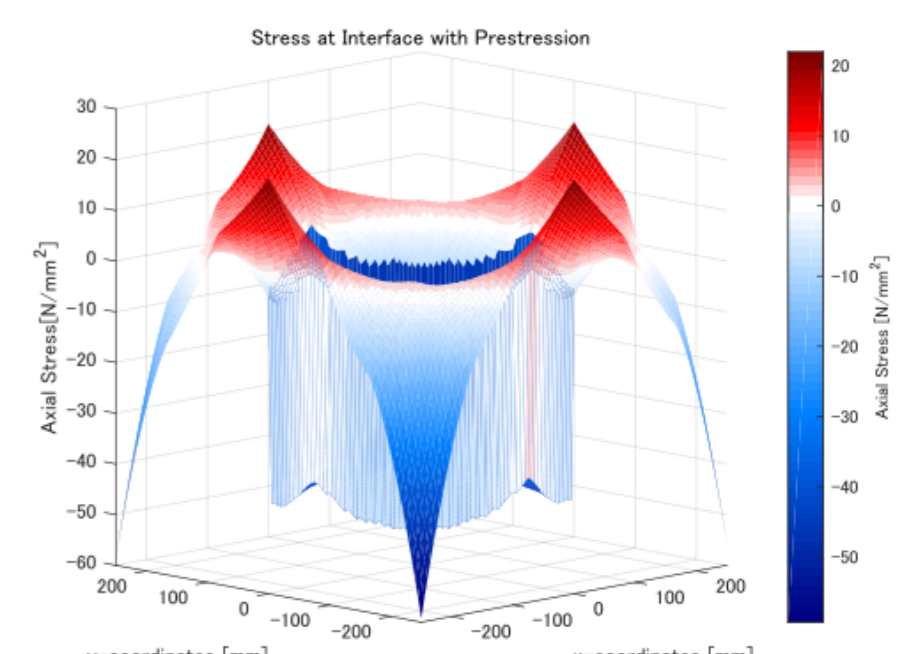
### 梁上部に固定荷重を受ける分岐構造への応用

#### 分岐断面での応力分布(プレストレスなし)



最大圧縮応力 99.3 [N/mm<sup>2</sup>]

#### 分岐断面での応力分布(プレストレスあり)



最大圧縮応力 59.3 [N/mm<sup>2</sup>]

### フレーム構造への応用(骨組への拡張)

#### 柱脚での軸力(強制変位なし)

柱の位置	柱脚での軸力 [kN]	柱脚でのモーメント [kNm]
左	30.12	37.70
中央	-0.02	43.61
右	最大圧縮軸力 [-30.09]	37.64

#### 柱脚での応力分布(強制変位あり)

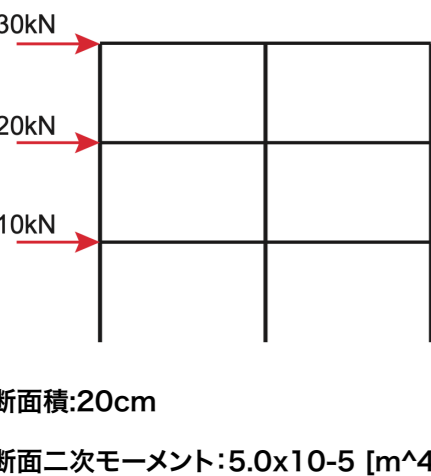
柱の位置	柱脚での軸力 [kN]	柱脚でのモーメント [kNm]
左	42.60	39.86
中央	最大圧縮軸力 [-24.99]	43.61
右	-17.61	35.48

## Conclusion2

全ての例において、成長応力を参考にしたプレストレスの作用により、最大圧縮応力が減少した。外周部分で発生していた大きな圧縮応力が、成長応力による引張部分によって緩和されたためである。特に分岐構造の例では、外力による応力分布と内部応力分布がうまく打ち消しあっており、内部応力の効果が最も発揮されている。また、フレーム構造の例においても大きな効果がみられ、プレストレス作用の方法が単純明快なことからも、応用に期待ができる。

プレストレスによるネガティブな作用として、中心部分での圧縮応力の増加がどの例においても顕著であった。過度なプレストレスは、かえって中心を脆弱にしてしまう。中央部分での圧縮を許容範囲にとどめつつ、プレストレス効果の最大限を活かすための最適な分布を作用させる必要がある。単一部材・骨組の双方における応用について、さらなる考察を進めなければならない。

### 構造の詳細



プレストレス方法  
中心の柱脚を5mmジャッキアップさせる  
↓  
中央の柱には圧縮軸力が、左右の柱には引張軸力が生じる(強制変位を用いた成長応力の応用)