

第4章 オリジナルスリーブの設計

4.1 検討概要

既往接合部（M36 アンカーボルト用）に用いたスリーブおよび既製品スリーブの材料・形状を参考としてオリジナルスリーブの材料・形状を設定し、その妥当性を解析によって確認する。

- 2022年度に実施した、M27 ボルトを想定した溶接製作スリーブを用いた GJ の引張実験の概要を図 4.1-1 に示す。この実験ではボルトは強度区分 10.9 を用いた。いずれの試験体もボルトの引張破断によって最大耐力が決まり、その値は M27 (ABR490) の規格破断耐力の 1.4 倍程度以上であった。

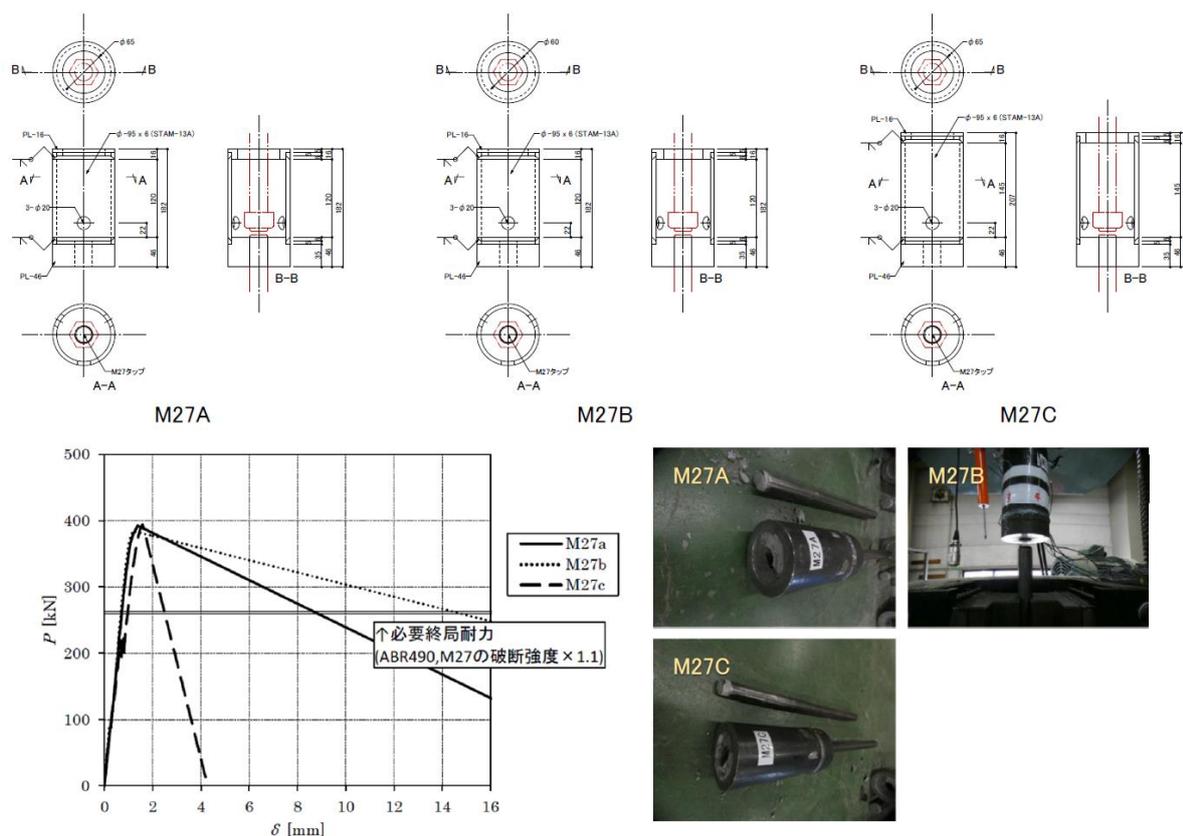


図 4.1-1 M27 アンカーボルトを対象とした小径 GJ 接合部の引張実験結果

- この結果に基づき、スリーブ外径 95mm、スリーブ厚さ 6mm、スリーブ深さ 136mm、ボルト挿入系 65mm を目安とし、150mm 厚の CLT パネル内に設置することを条件としてオリジナルスリーブの形状を検討する。なお、これらの寸法を図 4.1-2 に示す M36 用鋳造スリーブ寸法の 27/36 倍とすれば、スリーブ外形 86mm、スリーブ厚さ 7.5mm、スリーブ深さ 125mm、ボルト挿入系 63mm となる。図 4.1-3 にオリジナルスリーブの形状案 2 案(案 A, 案 B)を示す。
- オリジナルスリーブの FEM 解析を行い、M27 アンカーボルトの引張上限耐力に達するまでスリーブ各部が破断強度以下であることを確認する。本検討では、案 B を対象に解析を行う。

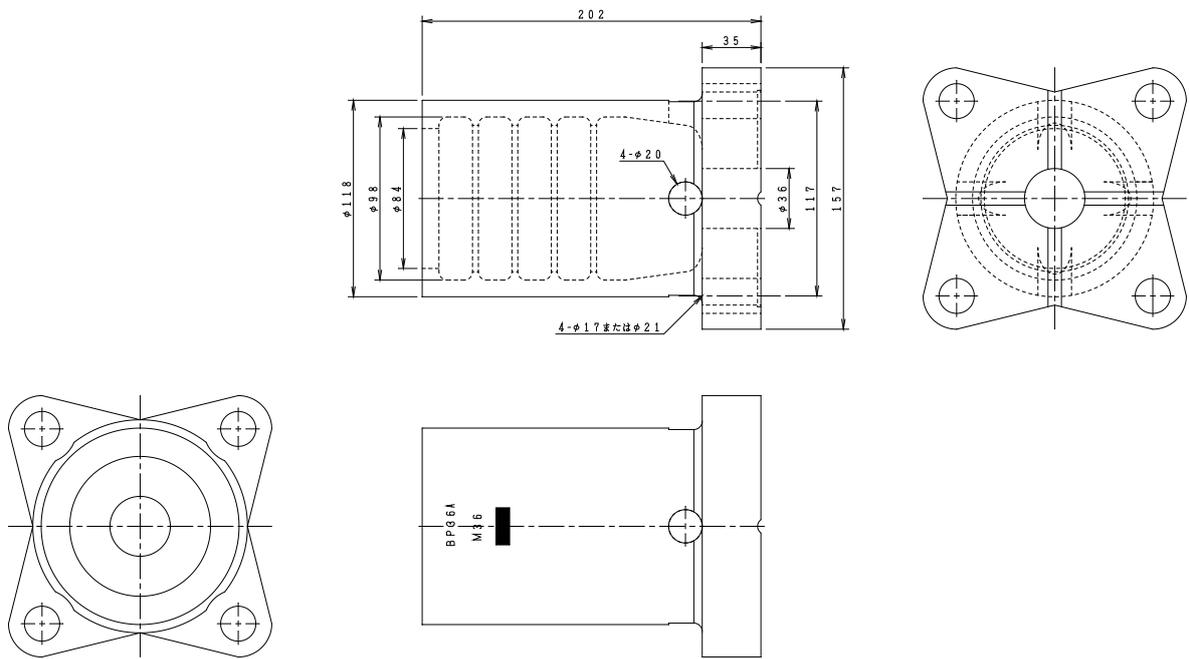
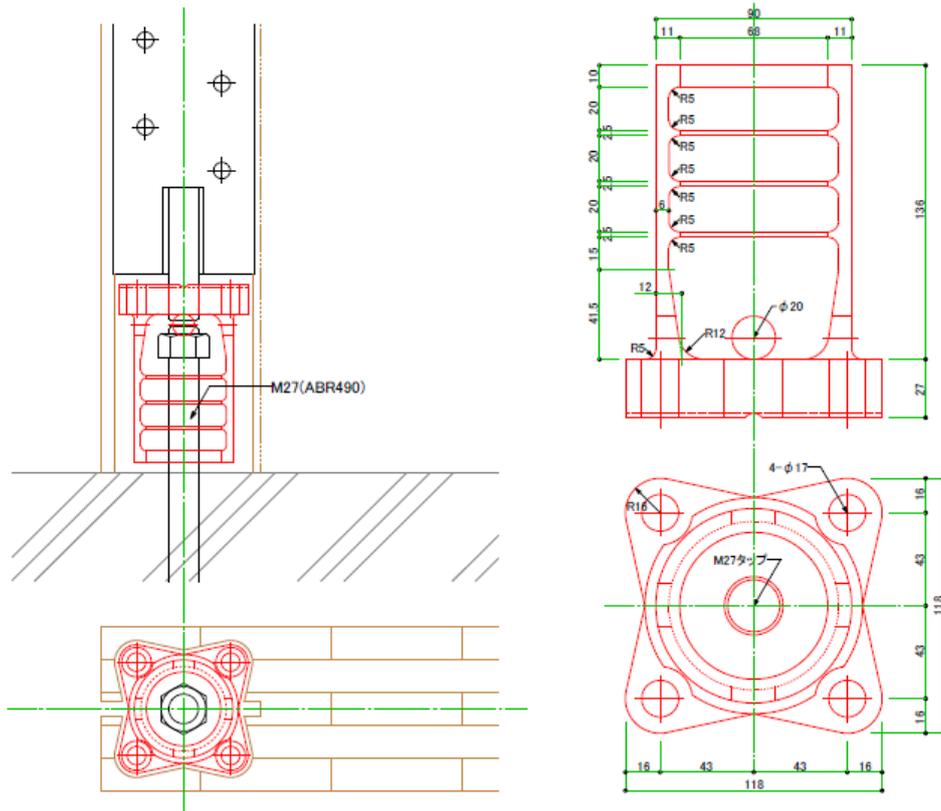
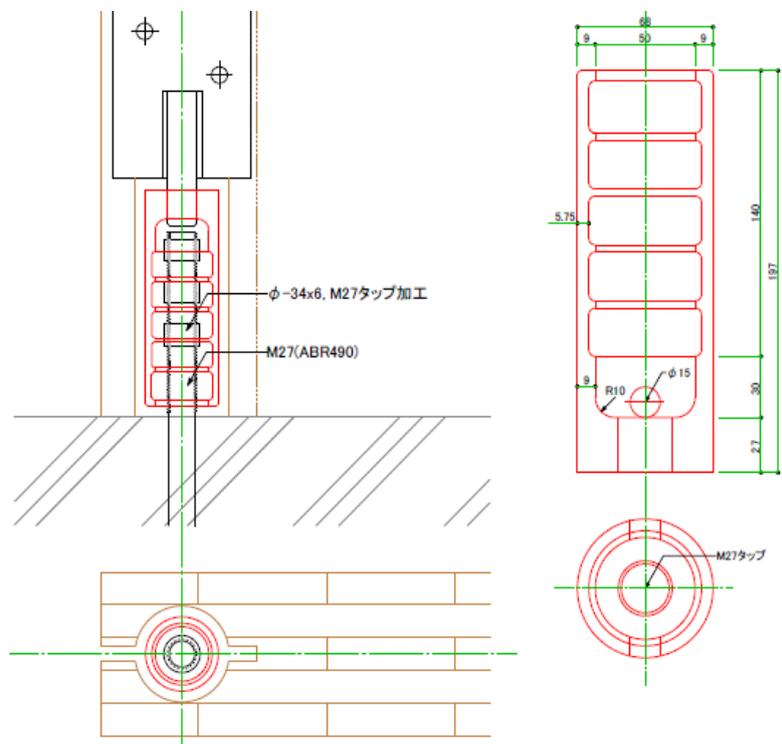


図 4.1-2 M36 アンカーボルト用 既往 GJ 接合金物(オリジナルスリーブ)の形状



案 A



案 B

図 4.1-3 M27 アンカーボルト用 鋳物オリジナルスリーブの形状案

4.2 解析モデルの設定

FEM 解析のモデルは、解析ソフト「Simcenter Femap with Nastran ver.2022.1」を用い、図 4.2-1・案 B の図面どおりにモデル化した。ただし、図 4.2-1 の赤丸部については $r=2$ で面取りを行った。

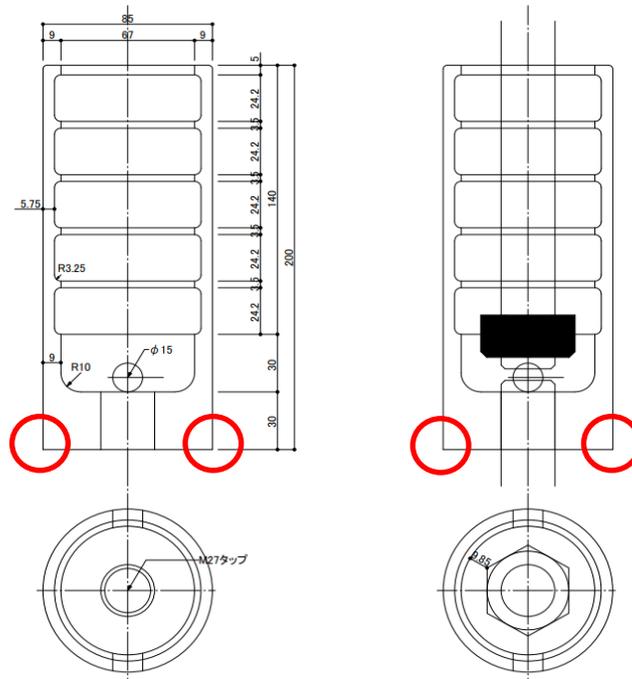


図 4.2-1 FEM モデルの設定概要(案 B・鋳物スリーブの形状)

FEM モデルの要素分割は、スリーブが一番薄くなる部分で、厚み方向に 3 分割になるように行った。スリーブ、グラウト、アンカーボルトの材料定数の設定を表 4.2-1 に示す。スリーブのみ非線形モデルとし、二次勾配の設定を図 4.2-2 に示す勾配あり／なしの 2 ケースとした。

表 4.2-1 材料定数の設定状況

材料定数		ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比	降伏耐力 σ (N/mm ²)	破断耐力 σ (N/mm ²)
スリーブ	FCD700-2	205000	0.3	420	700
グラウト		34000	0.2	降伏設定はなし	
アンカーボルト	ABR490	205000	0.3		

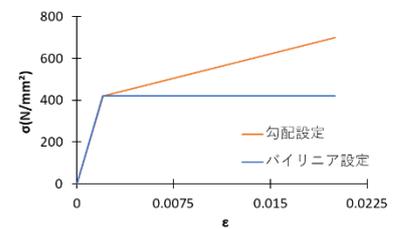


図 4.2-2 スリーブの勾配設定

解析パラメータは、図 4.2-3 に示すようにアンカーボルト心が同一直線状に配置される場合（偏心なし）、偏心して施工される場合（偏心あり）の 2 ケースとした。

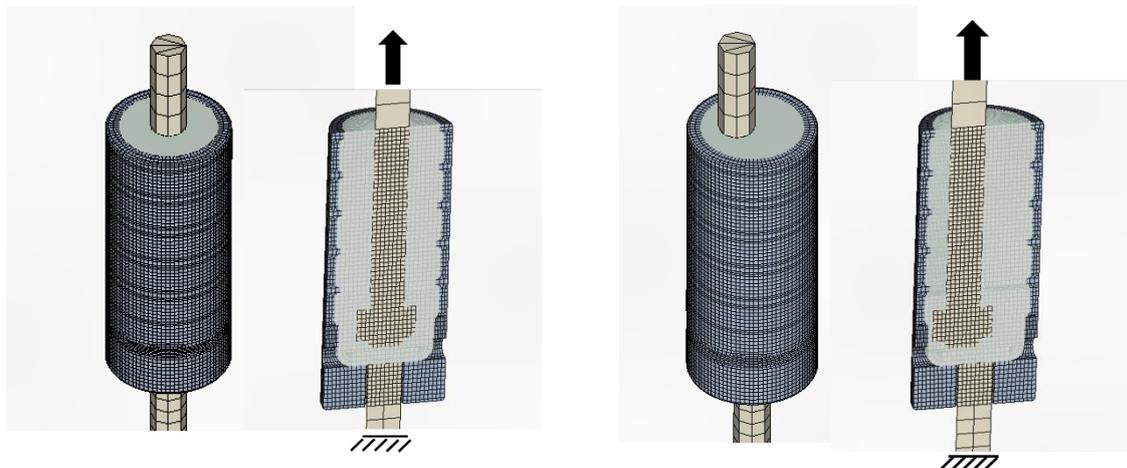


図 4.2-3 解析パラメータの設定状況
(左:偏心なし/右:偏心あり)

FEM モデルの拘束条件はタップ留めしたボルトの下端を固定端とし、外力はグラウト定着側のアンカーボルト上端に単純引張力を与える方向に入力した。解析は弾性解析および増分解析のそれぞれを行った。

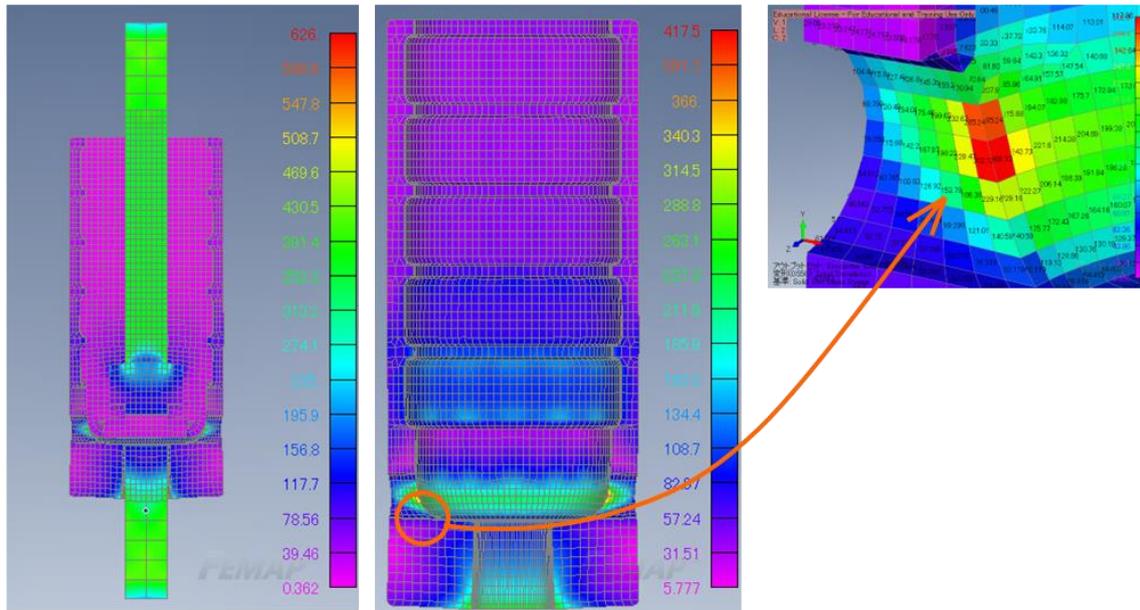
4.3 解析結果

(1) 偏心なしモデル

弾性解析及び増分解析の結果を以降の図 4.3-1 に示す。各コンター図の左側は全体変形図、中央および右側(拡大図)はスリーブのミーゼス応力である。また、図 4.3-2 に荷重変位関係を示す。

◆弾性解析

引張荷重 : $P=158\text{kN}$ (M27 アンカーボルト引張全塑性耐力)
変形図(変形スケール 5 倍)を以下に示す。



◆増分解析－状態 1

引張荷重 : $P=158\text{kN}$ (M27 アンカーボルト引張全塑性耐力)
変形図(変形スケール 5 倍)を以下に示す。

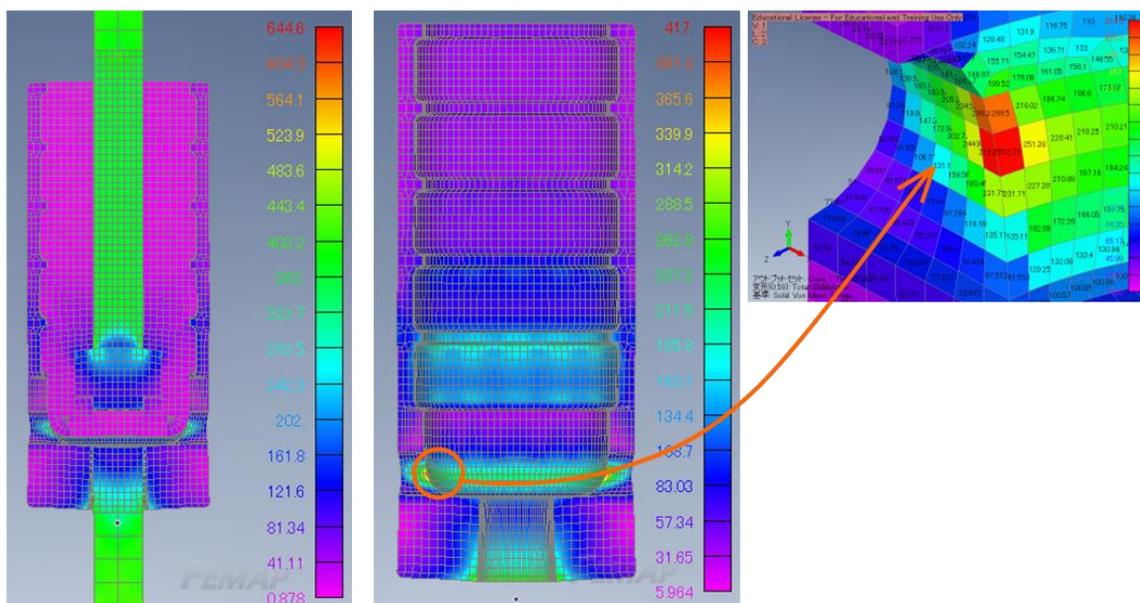
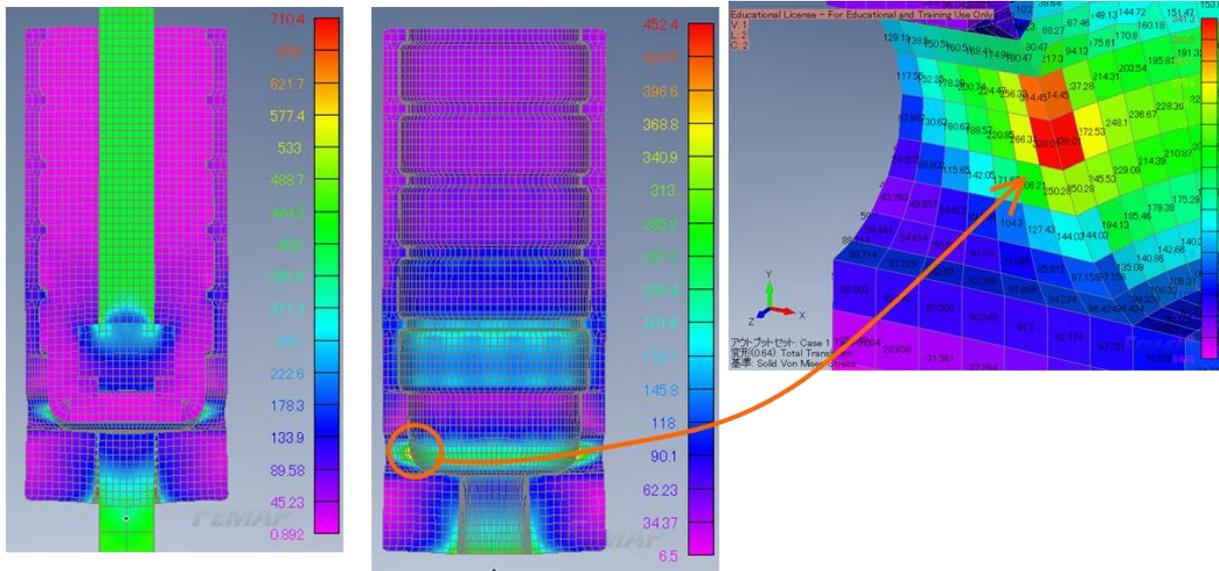


図 4.3-1 偏心なしモデルの FEM 解析結果／変形図及び応力図

◆増分解析－状態 2

引張荷重：P=174kN（M27 アンカーボルト引張全塑性耐力の 1.1 倍）

変形図(変形スケール 5 倍)を以下に示す。



◆増分解析－状態 3

引張荷重：P=1400kN（終局時）

変形図(変形スケール 5 倍)を以下に示す。

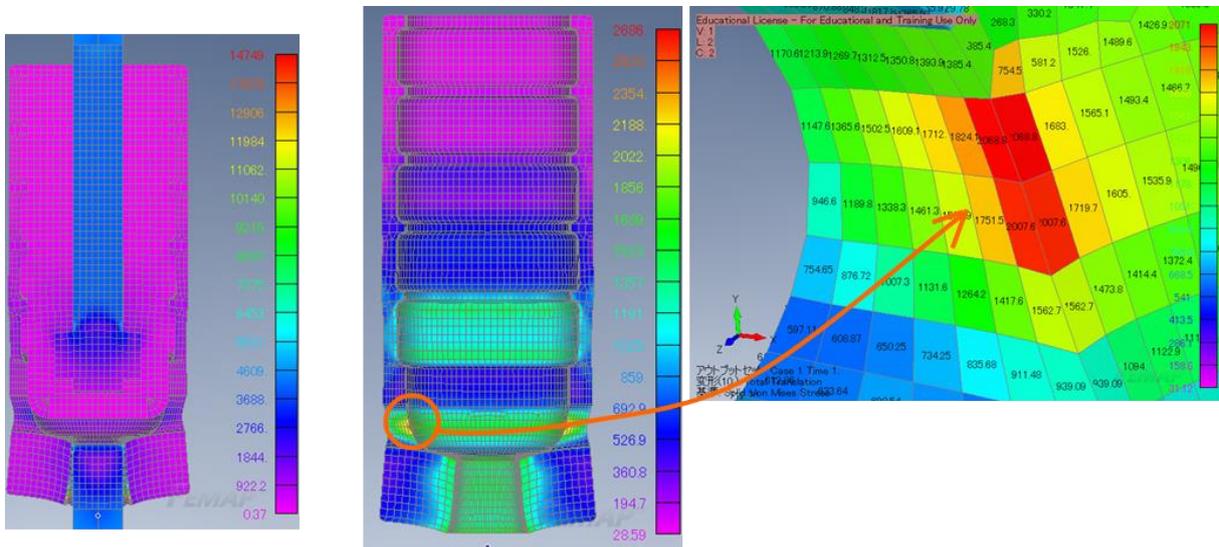


図 4.3-1 偏心なしモデルの FEM 解析結果／変形図及び応力図(つづき)

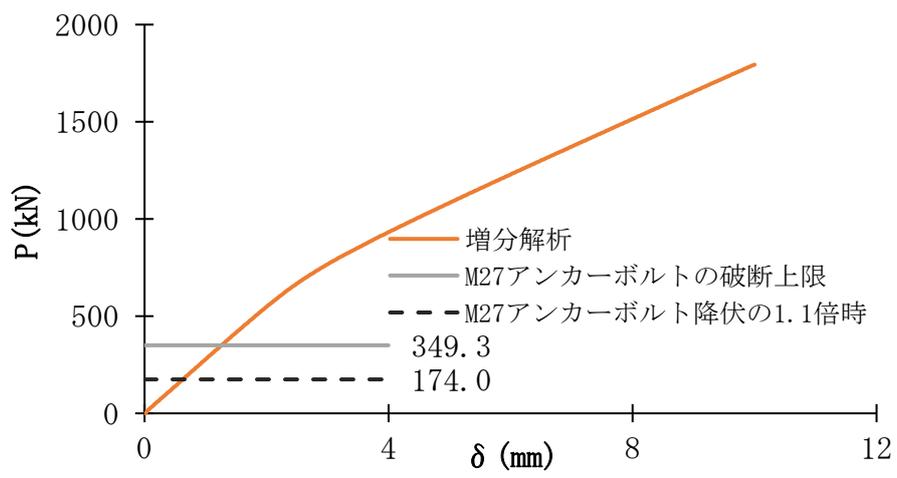


図 4.3-2 偏心なしモデルの FEM 解析結果／荷重変位関係

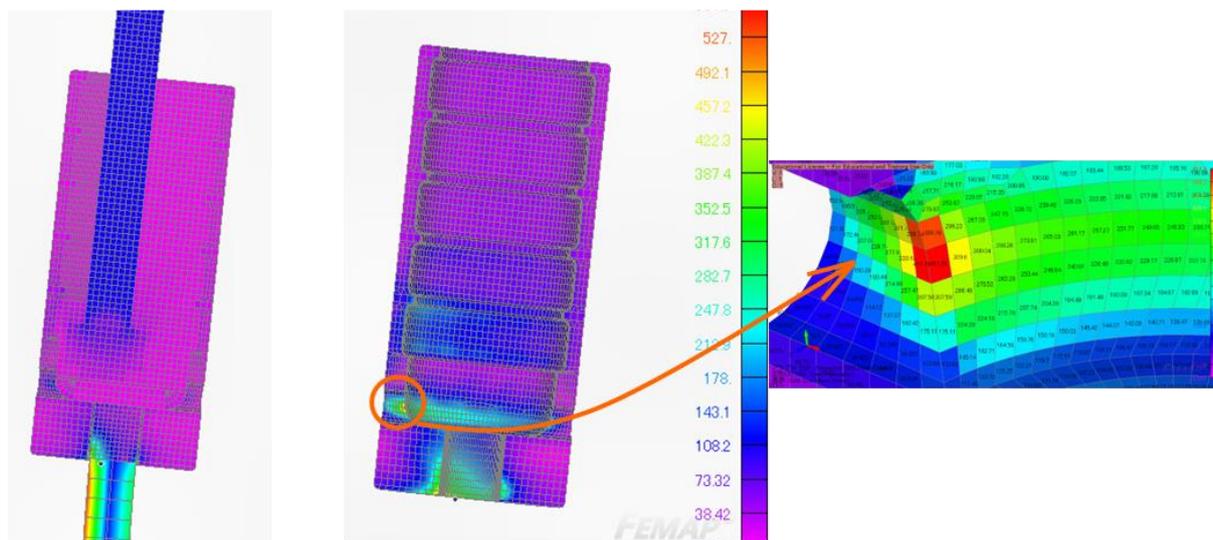
(2) 偏心ありモデル

弾性解析及び増分解析の結果を以降の図 4.3-3 に示す。各コンター図の左側は全体変形図、中央および右側(拡大図)はスリーブのミーゼス応力である。また、図 4.3-4 に荷重変位関係を示す。

◆弾性解析

引張荷重 : $P=158\text{kN}$ (M27 アンカーボルト引張全塑性耐力)

変形図(変形スケール 5 倍)を以下に示す。



◆増分解析－状態 1

引張荷重 : $P=158\text{kN}$ (M27 アンカーボルト引張全塑性耐力)

変形図(変形スケール 5 倍)を以下に示す。

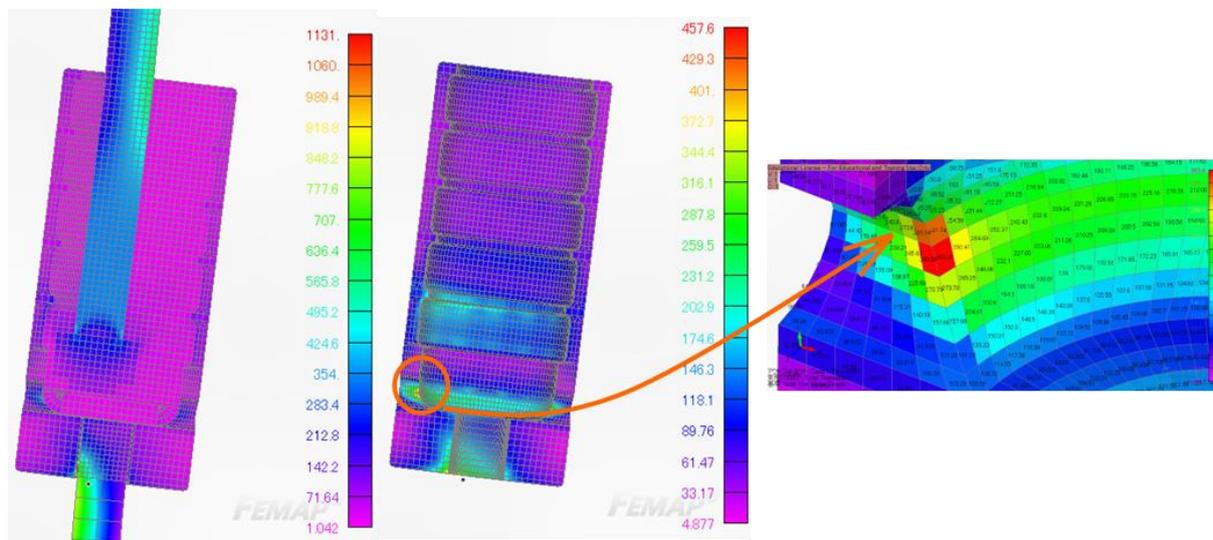
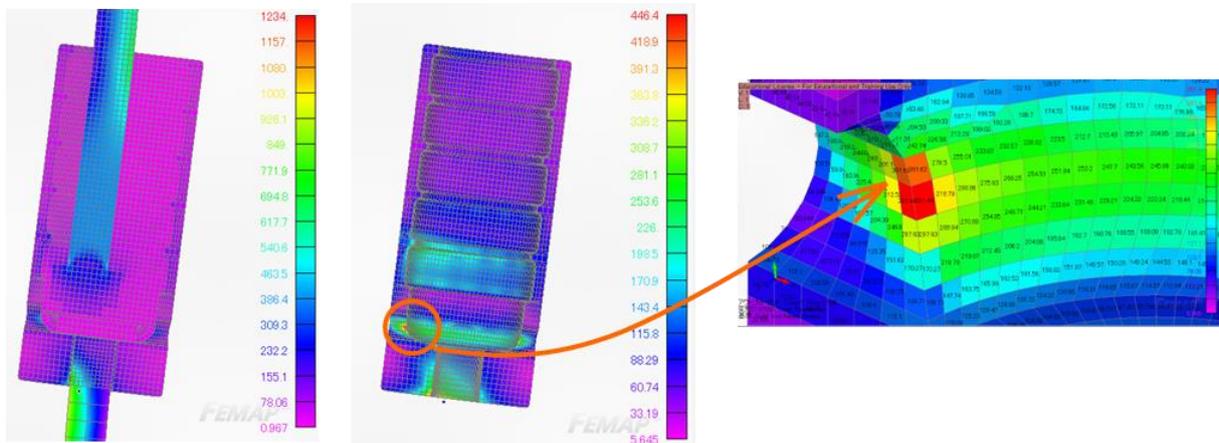


図 4.3-3 偏心ありモデルの FEM 解析結果／変形図及び応力図

◆増分解析－状態 2

引張荷重：P=174kN（M27 アンカーボルト引張全塑性耐力の 1.1 倍）

変形図(変形スケール 5 倍)を以下に示す。



◆増分解析－状態 3

引張荷重：P=1400kN（終局時）

変形図(変形スケール 5 倍)を以下に示す。

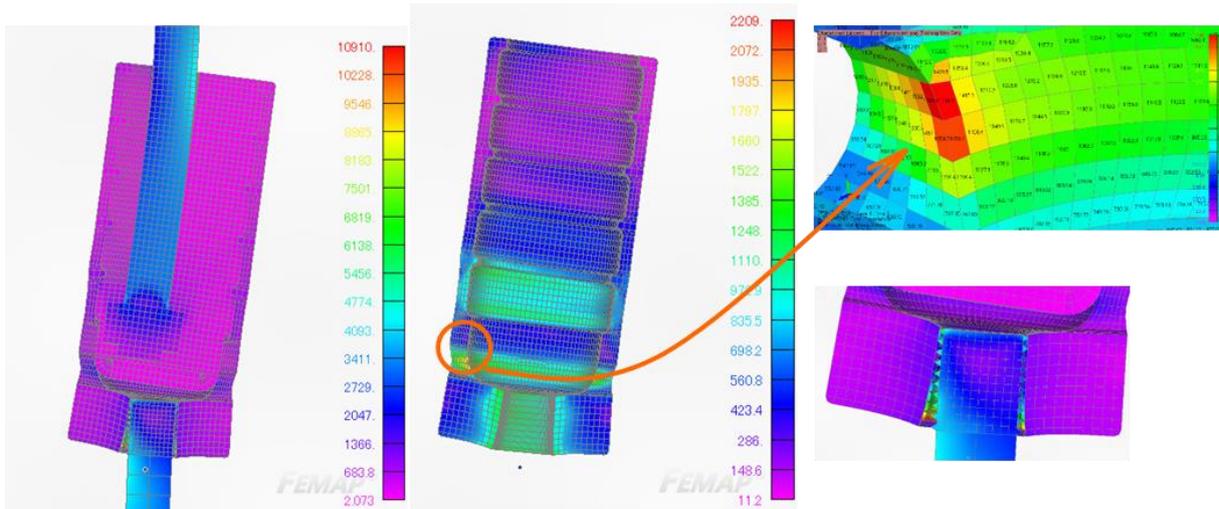


図 4.3-3 偏心ありモデルの FEM 解析結果／変形図及び応力図(つづき)

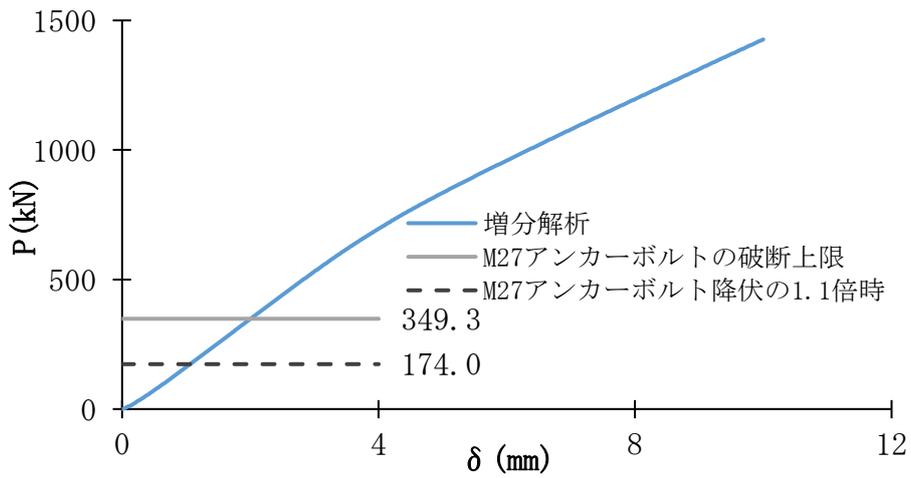


図 4.3-4 偏心ありモデルの FEM 解析結果／荷重変位関係

(3) 偏心なし・偏心ありモデルの比較

アンカーボルトの偏心の有無による増分解析の荷重変位関係を図 4.3-5 に比較する。偏心なしのほうが剛性、耐力ともに高い結果を確認した。

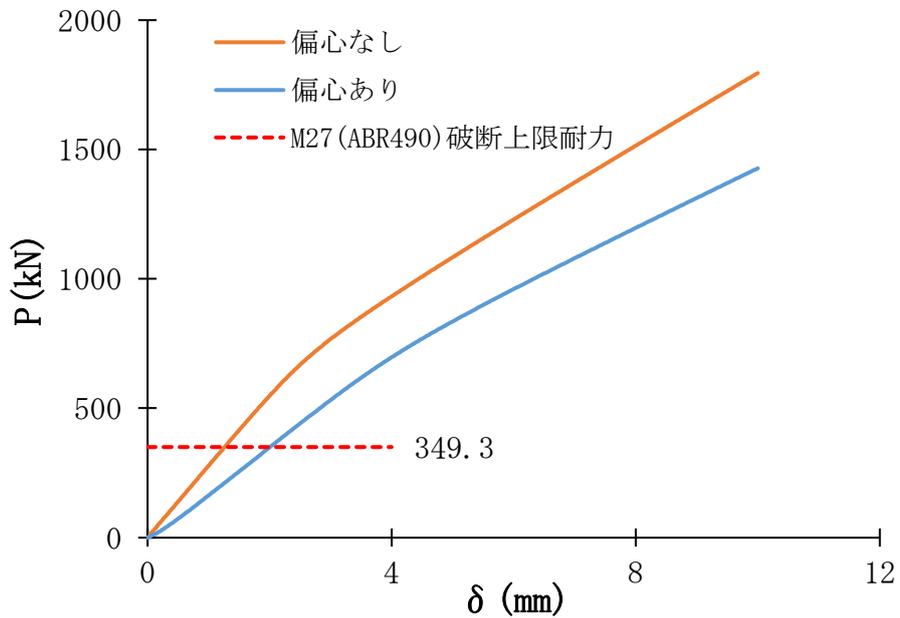


図 4.3-5 偏心なし・偏心ありモデルの増分解析による荷重変位関係の比較

4.4 結論

新規オリジナルスリーブを対象に FEM 解析を行った。スリーブの材質が FCD700 であるため、降伏破断強度は従来の検討よりも高い。弾塑性解析モデルは降伏後、ひずみ 2% で破断強度となるようなバイリニアと、降伏後はフラットとするバイリニアモデルも設定した。ボルトの偏心の有無を解析対象とし、弾性解析、弾塑性解析それぞれを実施した。以前の検討で、スリーブのネジ切部の応力が厳しかったが、今回 FCD700 としたことで応力度として十分余裕のある結果となっている。解析上のスリーブ本体は 1400kN 程度まで持ちそうであるが、実際設計で使う荷重はボルトの全塑性引張耐力の 1.1 倍として 174kN 程度である。偏心ありの場合は若干低めであるが、問題ないと判断できる。

応力図で局所的に 2000N/mm^2 と見えるが、1400kN 程度まで載荷した時の数値であるため、仮に破断強度を 700N/mm^2 としても 470kN の引張荷重に相当する。設計で使う M27 アンカーボルトの上限破断耐力は 349kN であるため、それでも十分に余裕がある。

また、既往の検討では既往の金物に対する FEM 解析においてボルト降伏相当荷重時にネジ部に局所的な応力集中が見られたが、それと比較すると本検討では十分に余裕がある。また、M36 ボルトによる実験でもネジ部によるボルトの抜けは確認されていなかったことから、問題ない結果であると考えられる。よって ABR ボルト側のネジ部で耐力性能が決まると想定される。結果的にスリーブは全体的に余裕があり、さらに薄くするなどの改善も図ることができると考えられる。

以上の結果より、提案したオリジナルスリーブは M27 アンカーボルトの破断強度に対して十分に接合耐力を保持していると結論付ける。