

I - A215

鋼製橋脚定着用アンカーボルトの変形挙動の解析

名古屋工業大学 学生会員 中島淳太
 名古屋工業大学 正会員 後藤芳顯
 トビー工業 正会員 藤原英之
 名古屋工業大学 正会員 小畑 誠

1. まえがき

鋼製橋脚のアンカーボルトは平滑部とねじ部から成り立っており、この両部分の挙動に支配される¹⁾。著者らはさきに基本母材断面50φより、M48仕様に従い切削加工した材質SS400, S35CN, S45CNの供試体をもとに、実験的にねじ部、平滑部の力学特性及び、この両者の相互作用について検討した²⁾。その結果、ねじ部においては応力集中により、変形能が低下し、高材質であるほどこの傾向が顕著であることなどが明らかになった。しかしながら、実際のアンカーボルトでは100φを超えるものも多くあり、その挙動を実験的な手法により予測することは容易ではない。従って、解析的にこの挙動を予測できれば非常に都合である。いわゆる塑性理論を用いてアンカーボルトの大変形挙動を追跡することが考えられるが、最終的にはいわゆる延性破壊が関与するため、その適用には限界がある。ここでは大変形塑性理論の適用限界について数値解析により検討する。

2. 構成則

アンカーボルトの大変形塑性解析では大ひずみ領域での構成関係を設定するのが重要である。ここでは、直径50mmの平滑な軸部の実験値にもとづき構成関係を設定する。引張り試験で、試験片は最大引張り荷重までは一様な変形をするので平均応力・平均ひずみの関係を用いて構成則を同定できるが、最大荷重到達後の荷重減少領域ではいわゆるネッキングが生ずるため、最大引張り荷重以降の大変形領域での構成則の同定は容易ではない。ここでは、大変形領域の構成則は、有限要素法により、引張り試験を解析し、荷重変位関係が実験値と一致するよう、いわゆるキャリブレーションにより設定する場合(TYPE1)、構成関係を真応力・対数ひずみ関係として表したとの最終勾配を用い線形近似する場合(TYPE2) および最終勾配を零にした場合(TYPE3)の三種について検討した。TYPE1～3の相当応力・相当塑性ひずみ関係を図-1に示す。

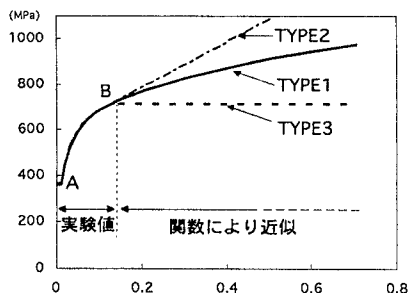


図-1 構成則

TYPE1 では最大荷重到達後の真応力・対数塑性ひずみ関係を下記のようなべき乗関数で近似する。

$$\sigma = h(\epsilon_m^p + \alpha)^\beta \quad (1)$$

定数 h, α, β は最大引張り荷重点に相当する位置の応力・ひずみ曲線の座標値と式(1)の曲線と一致する条件と、最大荷重点以降の有限要素解析による荷重変位関係が実験値と一致する条件から決定する。FEM解析では一軸応力ひずみ関係を相当応力相当ひずみ関係と考え、汎用ソフト ABAQUS に組み込みの等硬化化則を用いる。解析モデルは実験の実状を考慮して試験片の両端部を図-2のように固定としている。解析結果より、最大荷重到達以前もこのような境界条件により、厳密には一様変形の条件が成立していないことが判明したので、TYPE1 ではさらに実験結果により一致するように降伏棚の長さを調整することで、最終的な構成関係を設定した。

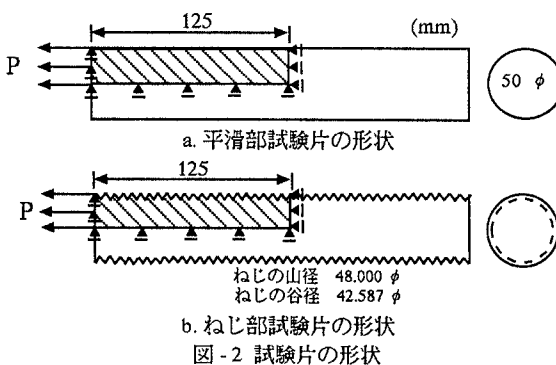


図-2 試験片の形状

TYPE1～3の構成則を用いて図-2aの平行部の引張り試験の荷重・変位関係を解析した結果を図-3にそれぞれの材質ごとに示している。この図より、TYPE1では全領域において実験結果と一致しているが、TYPE2,3ではピーク後実験結果との差が大きくなっている。とくに、TYPE3では、荷重の低下が大きい。

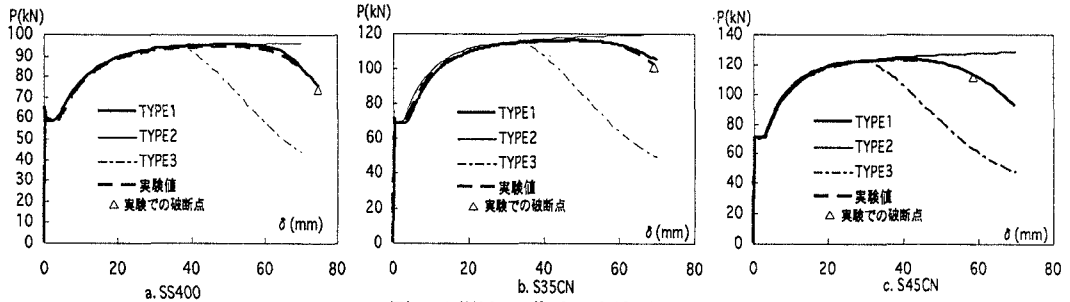


図-3 平滑部の荷重-変位関係

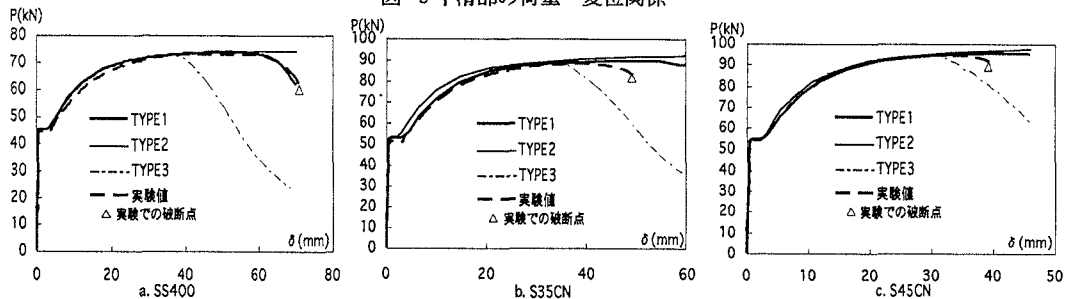


図-4 ねじ部の荷重-変位関係

3. ねじ部の解析結果

図-2bに示すようにねじ部を近似的に軸対称と仮定し、2.で設定した材料構成則を用いて引張り試験の荷重変位関係を解析した。SS400、S35CN、S45CNの3材質のねじ部について得られた荷重変位関係を実験結果と比較して図-4に示す。この図より、塑性理論に基づくいずれの構成関係を用いてもアンカーボルトねじ部の荷重変位関係は最大荷重点近傍までは妥当な精度で解析しうる。さらに、延性の大きいSS400のねじではTYPE1の構成関係を用いると破断近傍まで精度良く解析されることが解る。一方、延性がSS400に比べて小さなS35CN、S45CNでは、TYPE1の構成関係を用いた場合もピーク到達後の挙動が実験値と異なっており、この傾向は延性のより小さなS45CNにおいて顕著である。この場合は、むしろTYPE3の構成則がよい結果を与える。また、TYPE3のモデルは、いずれの材質においてもアンカーボルトの強度変形能を安全側に評価する。

4. まとめ

アンカーボルトの破壊時の延びの評価のように延性破壊を考慮しなければならない場合、通常の流れ塑性理論の限界について考察した。ひずみ軟化を想定しなければ引張り破壊に対応する急激な荷重の低下は主に大変形にともなう幾何学的非線形性によるひずみ集中化によりもたらされる。このため、延性の高いSS400では部分的には大きな変形が生ずるねじ部材でも精度の良い解析が可能である。その一方、S35CN、S45CNの場合ねじ部材ではひずみ硬化の見積もりが小さい方がよい結果を与えるがこれは高ひずみ領域でのマイクロボイドの発生によるひずみ軟化が破断の支配的なメカニズムになることを示唆している。したがって引張り破壊等の精度良い解析にはひずみ軟化についても考慮することも重要であると考えられる。

<参考文献>

- 1) 後藤他：繰り返し荷重を受ける鋼製橋脚アンカー部の挙動とモデル化、土木学会論文集、I-39、1997-4掲載予定
- 2) 藤原他：鋼製橋脚定着用アンカーボルトの引張り特性、土木学会第51回年次学術講演会