

I - A148

ボイドの発生と生長を考慮したアンカーボルトの延性破壊解析

清水建設 正会員 中島淳太 トピー工業株式会社 正会員 藤原英之
 名古屋工業大学 正会員 後藤芳顕 名古屋工業大学 正会員 小畑 誠
 名古屋工業大学 学生会員 田嶋靖夫

1. はじめに：著者らはこれまでに、アンカー部の合理的な耐震設計法を確立することを目的として、繰り返し載荷実験による履歴特性の検討、復元力モデルの提示、鋼製橋脚の地震時終局挙動に与える影響に関する検討¹⁾を行ってきた。その結果、アンカーボルトはアンカー部の地震時終局挙動を支配する重要な構造要素の一つであることが明らかになった。しかしながら、実際のアンカーボルトは直径 100mm を超えるようなものも多く、その終局挙動を実験的に予測することは困難な場合が多い。したがって、何らかの解析的手法により終局挙動を予測する必要がある。アンカーボルトの終局状態では、ねじ部においてひずみの局所化が生じ、更に鋼材中のマイクロボイドが生長して破断に至る。このような破断特性を解析的に予測するにはマイクロボイドの生長による軟化を考慮した解析をする必要がある。本論文ではこのようなマイクロボイドの発生する材料に対して考案された Gruson の多孔質塑性モデル²⁾を導入し、アンカーボルトの終局挙動解析への適用性について検討を行う。

2. 解析概要

(1) マイクロボイドの発生と生長：アンカーボルト用の鋼材として用いられているものとして主に一般構造用圧延鋼材の SS400 と機械構造用炭素鋼材の S35CN, S45CN とがある。これらの鋼材中には炭素、けい素、硫黄等を含んでおりアンカーボルトが荷重を受けることにより変形を起すと、これらの介在物がマイクロボイドを発生させ破断の原因となる。表-1 に実験に用いた鋼材の炭素成分を示す。ここでは化学成分中で最もマイクロボイドの発生に関係すると考えられる炭素に注目し、鋼種別

表-1 鋼材中化学成分

種類の記号	C
SS400	0.18
S35CN	0.37
S45CN	0.44

の炭素含有率の大小関係がボイド体積率の大小関係と一致するように決定する。

(2) 材料定数の同定：塑性モデルでの材料定数は、基本母材断面 50φ 供試体の引張試験をもとに決定する。引張試験で、図-1 に示すように試験片は最大引張荷重点までは一様変形をするが、ピーク点以降はネッキングによるひずみの集中化が卓越するため一様変形しない。したがって、最大荷重点までの結果は一様変形するとして算定された真応力-対数ひずみ関係をそのまま相当応力-相当ひずみ関係として与え、それ

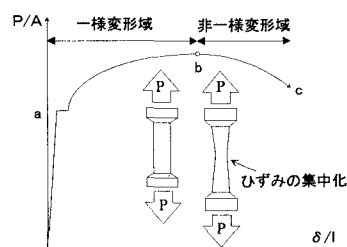


図-1 公称応力-公称ひずみ関係

以降の非一様変形領域については、有限要素解析によりネッキング現象を解析し、その挙動が一致するように、いわゆるキャリブレーションにより応力-ひずみ関係を同定する。以下に具体的な決定法を示す。

多孔質塑性モデルでは基質材料の加工硬化係数、空孔発生パラメータと決定すべき定数が多く、個々のパラメータを適正に決定するのは非常に困難である。ここでは、まず、基質材料の加工硬化係数として、引張試験における荷重のピーク点までは供試体が一様変形をし、ボイドの生長による軟化が小さいので、引張試験で得られる真応力-対数塑性ひずみ関係からそのまま硬化係数を定める。それ以降においては、簡単のため、加工硬化係数は一定とする(図-2)。つぎに、初期に含まれるボイド体積率 f_N 、空孔発生に関するパラメータ ε_N と s_N については、引張試験を有限要素法により解析し、荷重-変位関係が実験と一致するようにキャリブレーションにより決定している。また、上述したようにアンカーボルトの破断はボイドの体積率に

キーワード：アンカーボルト、鋼製橋脚、大変形解析、延性破壊

〒466 愛知県名古屋市昭和区御器所町 TEL 052-735-5486

左右されることを考慮して、破断の判定にボイドの体積率を用いることとした。判定に用いる破断時のボイド体積率の決定方法としては、素材の引張試験を有限要素法により解析し、破断時のボイド率 f_u をキャリブレーションにより決定する。このようにして定めた各パラメータ値を表-2示す。

(2)アンカーボルトのモデル化： 引張試験の解析に用いるモデルは図-3に示すようにアンカーボルトのねじ部を近似的に軸対象と仮定したため、ねじ部の解析では全体の1/4の部分解析対象となる。また形状寸法の決定には供試体の設計に用いたISOメートル並目ねじの基準山形と基準寸法を採用し、ねじ底の曲率半径、とがり山高さ、ねじ底角度を決定した。要素分割は要素数を変え荷重変位関係の収束性の検討を行った。また、ひずみ集中の発生するねじ底部の要素については細かい要素分割になるよう決定した。解析には汎用ソフトABAQUSを、要素には8節点要素CAX8と6節点要素CAX6を用いた。

3. 解析結果：解析結果を図-4に示す。図は多孔質塑性モデルと比較のために実験値とボイドの発生を考慮しない有限要素解析モデル（以下通常の塑性モデルとする）との3つを荷重－変位関係で比較している。この図から通常の塑性モデル、多孔質塑性モデルいずれも実験値の最大応力近傍までは妥当な精度で解析し得る。延性の大きいSS400ではいずれの塑性モデルを用いても、さらに、最大応力点から破断近傍まで精度良く解析し得る。この場合、とくに多孔質塑性モデルの精度が良い。また、多孔質塑性モデルにより予測される破断ひずみは、鋼種によらず実験値の約80%となっている。これは、予測される破断ひずみが破断開始時のひずみに対応することによると考えられる。

3. まとめ：Grusonの多孔質塑性モデルの適用性について検討を行った。その結果、多孔質塑性モデルは延性の大きなアンカーボルトについてピーク以降の挙動を解析する場合には通常の塑性モデルよりも精度が良いことが分かった。しかし、ここでの検討例だけで、本モデルの延性破壊挙動一般への適用性を議論することはできない。今後このモデルの材料パラメータの同定法を含めて、より詳細な検討が必要である。

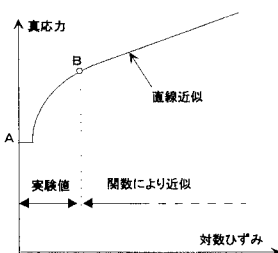


図-2 相当応力－相当ひずみ関係

表-2 ボイド発生パラメータ

	ε_N	S_N	f_N	f_u
SS400	0.35	0.125	0.05	0.186
S35CN	0.325	0.10	0.06	0.110
S45CN	0.35	0.15	0.07	0.096

ε_N ：ボイド発生ひずみの正規分布の平均値

S_N ：ボイド発生ひずみの正規分布の標準偏差

f_N ：ボイドの体積分率

f_u ：破断時のボイドの体積分率

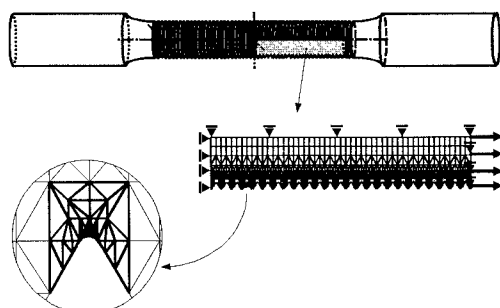


図-3 アンカーボルトのモデル化

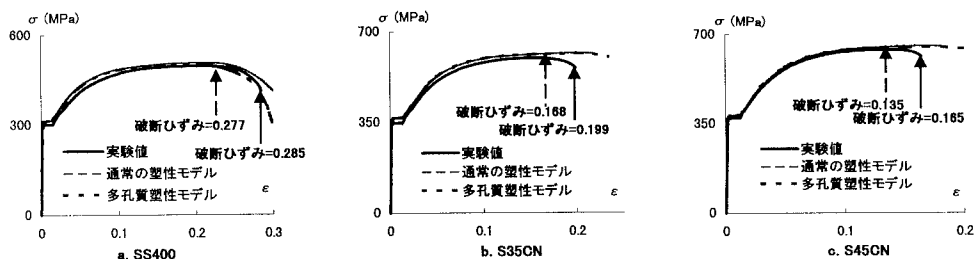


図-4 荷重－変位関係

【参考文献】1) 後藤芳顯 他：鋼製橋脚定着部の終局挙動とそのモデル化に関する考察、構造工学論文集、Vol. 42A, pp987-998, 1996 2) Gurson, A.L.: Continuum theory of ductile rupture by void nucleation and growth, ASME J. Engng. Materials Technology, vol. 99, pp2-15, 1977