引張荷重下におけるアンカーボルトの変形能の向上に関する検討

新日本製鐵 正 員 植木雅雄 トピー工業 正 員 藤原英之 名古屋工業大学 正 員 後藤芳顯,正 員 小畑 誠,学生員 石川哲也

1. はじめに

耐震設計においてアンカー部は,一般に橋脚躯体に比 べ高い耐力を持つように設計されているが,アンカーボ ルトねじ部には応力集中があり,極大地震下ではねじ底 に塑性化が生じ,これを起因とした不安定な脆性的な破 壊を生じる可能性がある.そこで,本研究では現行の JIS 規格¹⁾にあるねじ形状を改良し,より高い変形能を 有するアンカーボルトねじ形状を提案することを目的 として,単調引張載荷試験とボイド損傷理論に基づく有 限要素解析をもとに検討を行った.

2. 変形能を改善するねじ形状の考察

変形能を向上させるためには,ねじ底の応力集中を緩 和することが有効であると考えられ,その方法として西 田²⁾は,ねじ底の曲率半径,およびフランク角の拡大を 挙げている.本研究では,さらにねじ底に平行部を設け る方法を導入し検討する.

(1)幾何形状

ねじ形状は,図-1に示す形状パラメータで決定できる.各パラメータは幾何的に関連しており,独立変数として決定すべきパラメータは θ_1 ,R, b_4 , h_1 , h_2 , r_b の6つである.

(2) 改良したねじ形状の決定手法

JIS 規格ではこれらのパラメータに対して特に規定が ない.そこで,本研究ではらせんの度合いを表すリード 角がねじ締結体の基本性能に及ぼす影響を勘案し,JIS 規格にある,ねじのリード角の最大値から,ねじピッチ PをJIS 規格の2倍以下に設定した.そのうえで,以下 の諸条件によりパラメータの組み合わせを決定した.

1. h_1 , h_2 は統一させる.

- 2. 締結体として考えた場合の必要ナット高さは,概 ね,呼び径の1.5倍を最大とする.
- 3. フランク角 θ, の下限を 30°, 上限を 40°とする.
- ねじ底曲率半径 R を最大限広げる.具体的には JIS 規格同様,単純に単円で形成するものと,ねじ 底に平行部b₄を設けることにより擬似的に曲率半 径を拡大する方法の2つである.

1. ~3. は現行 JIS 規格の範囲に準拠したもので,4. が 本研究で新たに試行する要素である.決定した,ねじ底 曲率半径と平行部の可動範囲,および採用する組み合わ せを図-2に示す.丸数字が採用する試験片番号を表す.



図-2 採用するパラメータの組み合わせ

3. 単調引張載荷試験

図 - 3 に試験片形状および計測位置を示す.ねじ加工 材の基本サイズは,試験機の容量からメートル並目ねじ M18(基準ねじ)とした.すべてのねじ加工材では,ね じ底での直径を M18 と等しく 14.911mm で統一した. また,平滑材についても直径を 14.911mm とした.鋼種 はアンカーボルトでの使用頻度が高い S35CN とし,各 形状3本ずつ試験を行った.載荷は変位制御で,負荷速 度は十分に静的な範囲とした.また,試験は室温で行い, 計測項目は荷重とつかみ部間変位とした.

表 - 1,図 - 4 に試験結果を示す.ここで,破断伸び は破断直後のつかみ部間変位を初期つかみ部間距離で 除した平均ひずみ,破断伸び比は基準ねじであるの破 断伸び(15.6%)との100分率比を表す.

4. ボイド損傷理論に基づく有限要素解析

解析に用いる材料構成則は,塑性硬化則として式(1) の指数関数を定義した.

$$\sigma_{\text{true}} = h(\varepsilon_{\ln}^{p\ell} - \varepsilon_{\ln}^{y} + \alpha)$$
 (1)
ここで, $\varepsilon_{\ln}^{p\ell}$ は対数塑性ひずみ, ε_{\ln}^{y} は対数ひずみでの降

Key Words: アンカーボルト,変形能,ねじ形状,ボイド体積分率

^{〒466-8555} 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学社会開発工学科 Tel. 052-735-5486



強制変位

ላ ላ ላ ላ

ねじ底

中央部

伏だなの長さを表す.また,軟化モデルは,ボイド(微 小空隙)の発生,成長を考慮した式(2)-(5)に示す Gurson 型モデルを使用した.

109.6

110.7

$$\Phi = \left(\frac{\overline{\sigma}_e}{\sigma_Y}\right) + 2q_1 f \cosh\left(\frac{\sum_{i=1}^3 \sigma_{ii}}{2\sigma_Y}\right) - \left\{1 + (q_1 f)^2\right\} = 0$$
(2)

ここで, σ_e は Mises の相当応力, σ_Y は基質材料の降伏応力,fはボイド体積分率(以下,ボイド率), q_1 はボイドの相互作用を表すパラメータである.ボイド率は初期状態から存在するボイドの成長と,変形に伴って新たに形成されるボイドの和でつぎの増分形式で表される.

 $f = f_{\text{growth}} + f_{\text{nucleation}}$ (3) f_{growth} は質量保存則により表され, $f_{\text{nucleation}}$ は,式(4) および式(5)で表される.

$$\dot{f}_{\text{nucleation}} = A \left(\frac{EH}{E-H} \right) \bar{\varepsilon}_{M}^{\rho\ell} + \frac{1}{3} B \sum_{i=1}^{3} \sigma_{ii}^{\bullet}$$
(4)

$$A = \left(\frac{1}{H} - \frac{1}{E}\right) \frac{f_N}{s_N \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\frac{\overline{\varepsilon}_M^{p\ell} - \varepsilon_N}{s_N}\right)\right\}$$
(5)

ここで, E は弾性係数, H は基質材料の加工硬化係数, A および B はボイド発生に関する材料パラメータであ る.以上の構成則を定義し,文献3)の手法に則り,平 滑材の試験結果から逆解析により構成則パラメータを 同定する.同定したパラメータを表-2に示す.ねじ加 工材の解析では,この構成則パラメータを用い,図-5 に示す1ピッチのみの軸対称モデルを使用した.なお, 本解析では,初期延性き裂発生以降の挙動を捉えること



図-6 ボイド率に与える平行部の影響

は理論的に不可能である.しかし,ボイド率が初期延性 き裂の発生にしきい値を持つとすれば,ボイド率を指標 に変形能を検討することは可能であると考えられる.

5. 変形能の向上に関する考察

表 - 1 より,ねじ底曲率半径を単純に単円で拡大する こと(~ ,)による変形能向上は,最大でも の2%程度にとどまり,それ以外のタイプについては逆 に変形能が低下する結果となった.一方で,ねじ底に平 行部を導入したタイプは,図-4より最大での12%程 度変形能の向上が可能である.また,フランク角の影響 は,平行部のないタイプについては(に対して が)フランク角の拡大とともに変形能が若干向上してい るが,基準ねじよりも小さく,また,平行部があるタイ プについては(に対して が)フランク角を拡大 させることによって変形能が低下し文献2)とは逆の傾 向を示した.以上の結果,形状パラメータのうち,平行 部がもっとも変形能の向上に対して影響が大きく,最大 で JIS 規格より 10%以上の向上が期待できる.また,有 限要素解析によりボイド率を指標に変形能を評価する ことについては,図-6より平行部があるタイプがない タイプに比べて,ボイド率が小さくなっており,伸びが 大きくなると考えられるため試験結果と整合する.ねじ 底曲率半径やフランク角については、ここで検討した範 囲では変形能は安定的に向上しない.

参考文献

- 1)日本規格協会: JIS B 0205-1959, メートル並目ねじ, 1998
- 2) 西田正孝: 応力集中, 森北出版, 1967
- 3)小畑 誠 他:大変形領域での材料構成則パラメータの同定 方法について,構造工学論文集, Vol.44A, pp.29-36,1998

図-5 ねじ加工材の解析モデル