

I-272 任意の組合せ荷重を受けるスタッドアンカーの荷重-変位モデル

大阪大学工学部 正 員 大谷恭弘
 建設省 正 員 ○ 森戸義貴
 大阪大学工学部 正 員 福本嘯士

1. まえがき

複合構造物の終局状態に至る挙動を解析する上で、接合部における力学挙動の取り扱いが重要である。異種材料の接合部では、一般に組合せ力が伝達されるとともにその微視的挙動が複雑であるため、構造解析においては接合部の巨視的挙動をとらえる実用的なモデルの作成が望まれる。

鋼とコンクリートの接合部には、今日スタッドアンカーが広く使用されている。その終局状態に至る挙動は荷重の組合せによる相互作用や荷重経路に依存した複雑な非線形性を示すことが報告されている¹⁾。構造解析においては接合部での荷重伝達・変形挙動を任意の荷重状態に対して適切かつ容易に評価する必要がある。そこで、任意の組合せ荷重を受けるスタッドアンカーの荷重-変位関係をMultiple Hardening Model²⁾により定式化し、解析に適用可能な数学モデルの作成を行った。

2. 荷重-変位モデルの概要

引張・せん断組合せ荷重を受けるスタッドアンカーの実験結果¹⁾より、最大荷重に至る引張あるいはせん断方向の荷重-変位関係における明瞭な非線形性、およびそれらの載荷履歴への依存性が明らかとなっている。ここで、変位とはスタッド基部とコンクリートとの載荷方向の相対変位である。一方、耐荷力は次の耐荷力相関曲線で十分に予測できることも確認された。

$$\left(\frac{T}{T_u}\right)^{(5/3)} + \left(\frac{S}{S_u}\right)^{(5/3)} = 1 \quad T: \text{引張荷重}, S: \text{せん断荷重}, T_u: \text{引張耐荷力}, S_u: \text{せん断耐荷力} \quad (1)$$

ここに、 $T_u = \min [T_{uc}, T_{us}]$ T_{uc} : コンクリート引抜き耐力、 T_{us} : スタッド破断引張耐力 (2)

本モデルにおいては、図-1に示すような破壊基準を採用した。ここで、 F_1 は式(1)より、また F_2 は $S = S_u$ で与えられる破壊曲線を表す。圧縮-せん断領域では多少のせん断耐荷力の増加が期待できるが、ここでは安全側として一定値を仮定した。

任意の載荷経路に対する非線形な荷重-変位関係を定式化するため、塑性理論の概念を導入する。特にここではMultiple Hardening Model²⁾を用いてモデルの定式化を行った。載荷曲線(降伏曲線)として破壊基準と同様の相関式を仮定し、せん断と引張をそれぞれ独立したHardening Modeとして定式化することにより、等方硬化よりも自由度の高いモデルとすることが可能となる。載荷関数: f は次の2式で定義した。

$$f_1 = \left(\frac{N}{\mu_T}\right)^{(5/3)} + \left(\frac{S}{\mu_S}\right)^{(5/3)} - 1 = 0, \quad f_2 = \frac{S}{\mu_S} - 1 = 0 \quad (3)$$

N : 軸方向荷重 μ_T : 引張に対するHardening Parameter

S : せん断荷重 μ_S : せん断に対するHardening Parameter

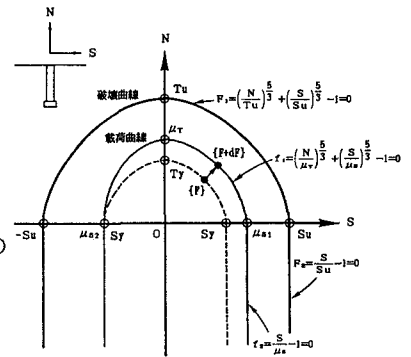


図-1 破壊曲線と載荷曲線

各Hardening Parameter: μ は、各モードに対するDamage Parameter: ξ の関数として与えられる。本定式化においてはHardening Parameter: μ を各モードの単独載荷に対する降伏荷重とし、Damage Parameter: ξ は、各モードで生じた塑性変位量とした。また、アンカーのTotal Damage: ξ_{TOTAL} は塑性変位の経路に沿った長さで定義し、各モードへのDamageを以下のように分配した。

$$\frac{d\xi_T}{d\xi_{TOTAL}} = \sqrt{\frac{N}{N+S}}, \quad \frac{d\xi_S}{d\xi_{TOTAL}} = \sqrt{\frac{S}{N+S}} \quad (4)$$

3. 増分荷重－増分変位関係の定式化

塑性理論に従い、全変位増分は弾性変位増分と塑性変位増分から構成されると仮定する。このとき、弾性変位増分はフックの法則により荷重増分と関係づけられる。また、流れ則としてAssociated Flow Ruleを仮定した。引張－せん断領域に対する弾塑性荷重－相対変位関係は次式のようなマトリックスで与えられる。

$$\{dF\}=[K]\{du\} \quad [K]=\begin{pmatrix} K_t & K_{ts} \\ K_{st} & K_s \end{pmatrix} - \frac{1}{h} \begin{pmatrix} H_1 H_2 & H_1 H_3 \\ H_2 H_4 & H_3 H_4 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} H_1 &= \frac{\partial f_1}{\partial N} K_t + \frac{\partial f_1}{\partial S} K_{ts} & H_2 &= \frac{\partial f_1}{\partial N} K_t + \frac{\partial f_1}{\partial S} K_{st} \\ H_3 &= \frac{\partial f_1}{\partial N} K_{ts} + \frac{\partial f_1}{\partial S} K_s & H_4 &= \frac{\partial f_1}{\partial N} K_{st} + \frac{\partial f_1}{\partial S} K_s \end{aligned}$$

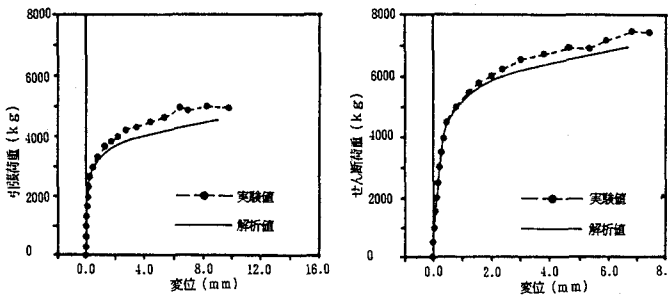
K_t : 引張に対する弾性バネ定数
 K_s : せん断に対する弾性バネ定数
 K_{ts}, K_{st} : 連成バネ定数

圧縮－せん断領域に対しても同様にして関係式を求めることができる。

4. 計算例

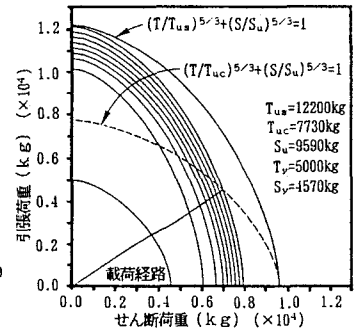
提案された荷重－変位モデルを用いることにより、任意の载荷経路に対するスタッドアンカーの荷重－変位関係を推定することが可能である。本モデルを使用するに当たり必要となるデータは、スタッドアンカーの初期弾性バネ剛性、降伏荷重（弾性限界荷重） T_y および S_y 、スタッドが破断する場合の引張耐力 T_{us} とコンクリートが破壊する場合の引抜き耐力 T_{uc} およびせん断耐力 S_u 、それから引張力のみ、およびせん断力のみが作用した場合の荷重－塑性変位関係である。ただし、引張力に対する荷重－塑性変位関係はコンクリートの破壊ではなくスタッドの破断に至るものを採用する。これらの値は単純試験から得ることを原則とする。

軸径19mm、全高10cmのスタッド周りに $f_c' = 257 \text{ kg/cm}^2$, $E_c = 2.12 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ のコンクリートを打設して作成されたスタッドアンカーに $T:S=1:1.5$ の荷重比で組合せ荷重を载荷した場合の荷重－変位関係を推定し、実験結果と比較した。ここでは、初期弾性剛性マトリックスの非対角項 K_{ts} および K_{st} を0とした。



(a) 引張力－引張変位関係 (b) せん断力－せん断変位関係

図－2 実験値との比較



図－3 载荷経路と载荷曲線の遷移

5. まとめ

任意の組合せ荷重下のスタッドアンカーの荷重－変位関係を、Multiple Hardening Model をにより定式化し、解析に適用可能な数学モデルを作成した。また、実験値と比較することにより本モデルの適用性について検討し、引張－せん断領域での有用性を確認した。今後、圧縮－せん断領域での適用性について検討する予定である。

参考文献

- 1) 大谷, 馬場, 森戸, 福本: 組合せ荷重を受けるスタッドアンカーの挙動, 構造工学論文集, Vol.37A, pp.1387-1396, 1991.3
- 2) Y.Ohtani, W.F.Chen: Multiple Hardening Plasticity for Concrete Materials, ASCE, Journal of Engineering Mechanics, Vol.114, No.11, Nov. 1988.