

接着系あと施工アンカーのダウエルモデル

飛島建設技術研究所

北海道職業能力開発大学校

飛島建設技術研究所

東京工業大学

正会員 ○高瀬 裕也

正会員 和田 俊良

正会員 池田 隆明

非会員 篠原 保二

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物には、接着系あと施工アンカーを用いて部材と部材を接合する場合がある。このような接合部を持つ構造物に水平力が作用すると、あと施工アンカーのダウエル効果¹⁾により部材間でせん断応力が伝達される。そのため、あと施工アンカーのダウエル効果を解明することは、非常に重要な課題である。そこで本研究では、せん断力を受けるあと施工アンカーの荷重－変位曲線を再現するダウエルモデルを構築する。

2. 力学モデルの提案とその定式化

(1) 提案モデルの概要

図-1 にあと施工アンカーのダウエル効果をモデル化したものを示す。鉄筋のダウエル効果の解明を試みた既往の研究では、弾性支承梁の理論から展開される杭の横抵抗基本式が応用されることが多い。しかし本論文では、非線形領域における力学挙動も追跡できるモデルを構築するため、図-1 に示すモデルを提案する。すなわち、塑性ヒンジが形成される点を初めに求め、アンカー筋がこの点から接合面に向かって直線的に変形し、かつ曲げモーメント分布も直線分布になると仮定する。アンカー筋の変形と同時に、コンクリートには支圧応力が発生する。さらに、接合面のせん断変位の増大につれ、アンカー筋が軸方向に伸び、鉄筋に引張応力が作用する。したがって、アンカー筋が担うせん断力 $q(N)$ は、塑性ヒンジ点における曲げ抵抗力 $q_s(N)$ 、コンクリートに作用する支圧抵抗力 $q_b(N)$ 、軸方向に作用する引張力 $q_r(N)$ のせん断成分 $q_r^s(N)$ を合計した式 (1) で表される。

$$q = q_s + q_b + q_r^s \quad (1)$$

(2) アンカー筋の塑性ヒンジ位置と水平変位

式 (1) における q_s 、 q_b 、 q_r^s の値は、いずれも塑性ヒンジの位置と、アンカー筋の水平変位に依存する。塑性ヒンジの接合面からの深さ $L_h(mm)$ は、杭の横抵抗基本式の微分方程式を解くことにより理論的に求められるが、本論文では塑性化したあとに反力係数 κ が低下するのを考慮して、次式で与えることとする。

$$L_h = \frac{3}{2} \cdot \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{4E_s I_z}{\kappa \phi}} \quad (2)$$

κ は、Maekawa らのモデル²⁾ に準拠する。

$$\kappa = 150 \sigma_B / \phi \quad (3)$$

ここに、 σ_B はコンクリートの圧縮強度 (N/mm^2) である。深さ x におけるアンカー筋の水平変位 $\delta_a(x)$ は、 L_h を用いて以下の式で表される。

$$\delta_a(x) = \begin{cases} \delta_a(0) - \frac{\delta_a(0)}{L_h} \cdot x & (0 \leq x < L_h) \\ 0 & (L_h \leq x) \end{cases} \quad (4)$$

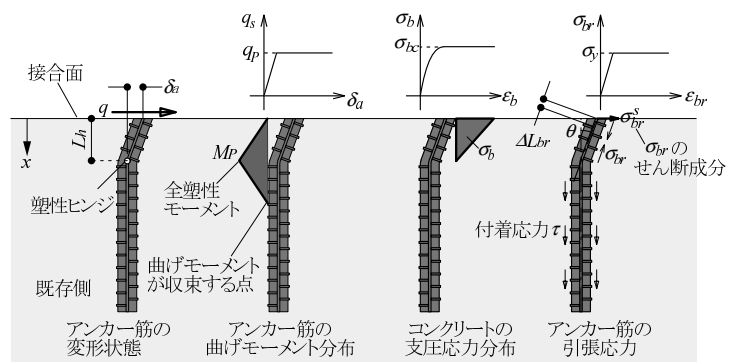


図-1 アンカー筋のダウエル効果のモデル化

(3) 塑性ヒンジにおける曲げ抵抗力

アンカー筋の全塑性モーメント $M_p(N \cdot mm)$ は次式となる。

$$M_p = \frac{\phi^3 \cdot \sigma_y}{6} \quad (5)$$

ここに σ_y はアンカー筋の降伏強度 (N/mm^2) を意味する。アンカー筋の接合面位置に、全塑性モーメントを生じさせる集中荷重 $q_p(N)$ は、 M_p を L_h で除して求められる。

(4) コンクリートの支圧抵抗力

コンクリートのひずみ ϵ_b は、平均ひずみとする。そのため、深さ x における平均ひずみ $\epsilon_b(x)$ は、 $\delta_a(x)$ を有効ひずみ化長さ $L_{eb}(mm)$ で除すことで得られる。コンクリートの支圧抵抗は、周囲から3次元に拘束される局所的な1軸圧縮抵抗と見なされるため、応力－ひ

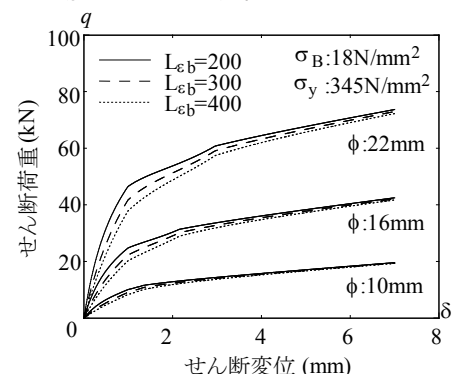


図-2 L_{eb} を変動させた場合の q - δ 曲線の一例

キーワード：あと施工アンカー、せん断伝達、ダウエル効果、接合面

連絡先：〒 270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 飛島建設株式会社 技術研究所 TEL 04-7198-7553

ずみ曲線は最大応力まで既往のコンクリート構成則³⁾に従うこととする。コンクリートの最大支圧応力 σ_{bc} はコンクリートの1軸圧縮強度 σ_B よりも大きく、その値は σ_B の大きさに左右される。提案モデルでは、 σ_{bc} を σ_B の関数として、次のように与える。

$$\sigma_{bc} = 2.5 \cdot \sigma_B^{0.8} \quad (6)$$

最大支圧応力に達したあとの挙動は、アンカー筋が周囲から3次元に拘束されていることから、最大支圧応力を維持する履歴を辿るものとする。深さ x における σ_b を $\sigma_b(x)$ とすると、コンクリートの支圧抵抗力 q_B は次式で表される。

$$q_B = \frac{\pi\phi}{2} \int_0^{L_h} \sigma_b(x) dx \quad (7)$$

(5) アンカー筋の軸応力によるせん断抵抗力

せん断変位の増加に付随しアンカー筋は ΔL_{br} (mm)だけ伸び、これを L_h で除すとひずみ増加量 $\Delta\epsilon_{br}$ が得られる。アンカー筋の軸応力 σ_{br} は、弾塑性型のバイリニアモデルとする。軸応力にアンカー筋の断面積を乗じて軸引張力を求め、さらにそのせん断方向の成分を求めることで q_T^s が導かれる。

$$q_T^s = q_T \sin\theta = \sigma_{br} \frac{\pi\phi^2}{4} \sin\theta \quad (8)$$

ここに θ は、接合面直交方向に対するせん断変形時のアンカー筋軸方向の角度(rad)である。

これまでに述べた方法によって、 q - δ_a 曲線を求めることができるので、前述した L_{eb} の設定値について検討する。あと施工アンカーのピッチの上限値が、指針⁴⁾によれば300mmであることから、 L_{eb} を200mm, 300mm, 400mmと設定して q - δ_a 曲線を求め、 L_{eb} の影響について検証する。図-2に、 σ_B と σ_y を一般的な構造物を想定して、それぞれ18N/mm², 345N/mm²とし、 ϕ を10mm, 16mm, 22mmの3種類に設定して解析した結果を示す。同図を見ると ϕ が同じであれば、 L_{eb} が小さい方が剛性も、同変位時の荷重もやや大きい。しかし、 L_{eb} =300mmを基準とした時の荷重の差は、 δ =1mmあたりで最も大きくなるが、それでも1割程度であり、変位の進展につれ徐々に収束する。このため L_{eb} が q - δ_a 曲線に及ぼす影響は小さいと判断し、提案モデルでは L_{eb} =300mmと仮定する。

3. 提案モデルの実験値への適合性

(1) 試験体の諸条件

表-1に、既往の実験のパラメータを示す。これらの試験体は、既往の接着系あと施工アンカーのせん断実験^{5),6)}で用いられたものであり、便宜上、各試験体にNo.1からNo.4の試験体番号を割り付けた。主なパラメータは σ_B と ϕ である。接着系あと施工アンカーにはカプセル型と注入型があるが、No.1からNo.3試験体ではカプセル型が、No.4試験体では注入型のタイプがそれぞれ用いられている。

(2) 実験値と計算値の比較

図-3に実験値と提案モデルを比較した結果を示す。図-3に描く4種の実験値と提案モデルの荷重-変位曲線を見てみると、提案モデルの初期剛性が全体的にやや高いが、変位が2mm程度になるとほぼ実験値に一致し、全体的に見れば実験結果を良好に再現できている。また、No.4試験体は唯一注入型の接着系あと施工アンカーが使用されているが、これについても、提案モデルにより精度良く実験値を再現できている。タイプが異なる接着系あと施工アンカーに対しても適応可能であることが判る。

4. 結論

本論文では、接着系あと施工アンカーのダウエル効果をモデル化し、これにより実験結果を概ね良好に再現できることが判った。今後著者らは、引張力とせん断力が同時に作用する場合の挙動を再現できるよう、モデルを拡張する予定である。

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金(研究代表者:高瀬裕也)の助成を受け実施しました。

参考文献

- 1) Vintzeleou E. N. and Tassios T. P.: Mathematical models for dowel action under monotonic and cyclic conditions, Magazine of concrete research, Vol.38, No.134, pp.13-22, Mar.,1986.
- 2) Maekawa K. and Qureshi J.: Computational model for reinforcing bar embedded in concrete under combined axial pullout and transverse displacement, J. materials, Conc. Struct., Pavements, JSCE, pp.227-239, May,1996.
- 3) Saenz, L. P.: Discussion of Equation for Stress - Strain Curve of Concrete, by Desayi P. and Krishnan S., ACI Journal, V. 61, No. 9, pp. 1227 - 1239, Sep.,1983.
- 4) 日本建築防災協会: 2001年改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針・同解説, 日本建築防災協会, 2001年10月(改訂版発行)。
- 5) 福本晃治, 清原俊彦, 中野克彦, 松崎育弘: 接着系あと施工アンカーの構造性能に関する実験研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.719-720, 1998年9月。
- 6) 安藤祐太郎, 中野克彦: 接着系あと施工アンカーのせん断耐力に及ぼすへりあき効果の影響, 日本建築学会大会北陸支部研究報告集, No.51, pp.77-80, 2008年7月。

表-1 既往の実験のパラメータ

試験体番号	ϕ (mm)	σ_B (N/mm ²)	種類	鉄筋の材質
No.1 ⁵⁾	19	24.7	カプセル型	SD345
No.2 ⁵⁾	19	14.7		
No.3 ⁵⁾	16	14.7	ポリエステル系	SD295
No.4 ⁶⁾	19	30.4		

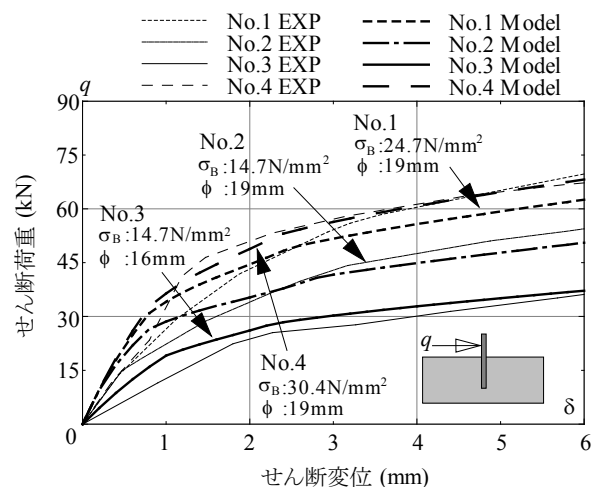


図-3 実験値と提案モデルの比較