

九州共立大学 工学部 正員 小坪清真
九州工業大学 工学部 正員 高西照彦
九州工業大学 工学部 正員 ○多田 浩

1. まえがき

構造物を地盤に定着させるアンカー工法は、数多くの工事で用いられているが、従来の工法では、グラウトの流失などで安定した品質のアンカーを作製することが困難である。このような従来型アンカー工法の欠点を改善する目的でハイバックアンカー工法が考えられている。この工法は、アンカー定着部に、アラミド織布袋を取付け、グラウトを加圧注入してアンカーを作製するものである。この工法によれば、亀裂の多い岩盤でもグラウトの流失がなく、グラウト量の管理も容易である。出光ら¹⁾はコンクリートで作製した模擬岩盤中に従来型アンカー及びハイバックアンカーを打設して引き抜き試験を行っている。著者らはすでに、剛体-ばねモデルを用いて従来型アンカーの数値計算を行い、実験とよく一致した結果を得ている。そこで、本研究ではハイバックアンカーを取り上げ、これを軸対称3次元剛体-ばね要素を用いてモデル化し、数値計算によってハイバックアンカーの力学的特性を明らかにした。そして実験との比較を行い、剛体-ばねモデルのハイバックアンカーの応力問題への適用の妥当性を検討した。

2. 剛体-ばねモデル

剛体-ばねモデルは、対象物を有限個の軸対称三角形要素に分割し、要素自身は剛体であると考え、要素同志をばねによって連結させ、このばねによって力が伝達すると仮定したものである。

図-1に示すような三角形要素を考えると、点Pの変形後における相対変位 δ_n , δ_s および円周方向平均変位 δ_u は重心点の変位 $u_i = [u_1, v_1, \theta_1, u_2, v_2, \theta_2]^T$ を用いて、次式で表される。

$$\delta = M \cdot R \cdot Q \cdot u_i = B \cdot u_i, \quad B = M \cdot R \cdot Q, \quad \delta = (\delta_n, \delta_u, \delta_s)^T \dots (1)$$

ここに、Mは局所座標系における変位差を与えるマトリックス、Rは座標変換マトリックス、Qは剛体変形を表すマトリックスである。相対変位に対する仮想歪成分 $\epsilon = [\epsilon_n, \epsilon_u, \gamma_s]$ を次式のように定義する。

$$\epsilon_n = \delta_n / h, \quad \epsilon_u = \delta_u / r, \quad \gamma_s = \delta_s / h \dots (2)$$

ここに、hは要素重心点 G_1 , G_2 から要素境界面上に下ろした垂線の長さの和、rは半径方向の座標である。

次に要素境界辺上の単位面積あたりの表面力を次式のように仮定する。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_n &= \frac{(1-\nu)E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \epsilon_n = \frac{(1-\nu)E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \frac{\delta_n}{h} = k_n \cdot \delta_n \\ \sigma_u &= \frac{(1-\nu)E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \epsilon_u \\ \tau_s &= \frac{E}{(1+\nu)} \gamma_s = \frac{E}{(1+\nu)} \frac{\delta_s}{h} = k_s \cdot \delta_s \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

ここに、Eは弾性係数、 ν はポアソン比である。以上により、変形後に2要素間に蓄えられる歪エネルギーは次式で与えられる。

$$V = \frac{1}{2} \left(\int_V \bar{\sigma}^T \bar{\delta} ds + \int_A \sigma_u \epsilon_u dA \right) \times 2\pi r, \quad \bar{\sigma} = (\sigma_n, \tau_s)^T, \quad \bar{\delta} = (\delta_n, \delta_s)^T \dots (4)$$

ここで、カスチリアノの定理を用いれば重心点の変位と力の関係を結び付ける剛性マトリックスKが求められる。

3. 計算方法

出光ら¹⁾が行ったアンカーの引き抜き試験の概要を図-2に示す。これを図-3の破線に示すように軸対称三角形要素に分割(節点数53, 要素数85)した。まず初めに、実験でのグラウトの注入圧(10kgf/cm²)と

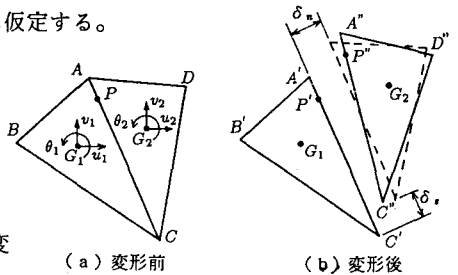


図-1 三角形要素

同等の初期応力をグラウト部分の要素ばねに作用させ、その後実験と同じようにコンクリート上部の上下変位を拘束し、鋼棒上端に引き抜き荷重を加えた。拘束要素及び荷重要素には棒要素を用いた。計算は荷重増分法を用いて行った。各要素境界面での応力及びひずみを算出し、非線形領域に入った要素ばねの中から、最小のひずみ及び応力レベルを有する要素ばねを選んで、そのばね定数を変化させて、繰り返し計算を行った。鋼棒とグラウトの間のせん断ばねを除いて、要素間のばね定数の値は、ばねを挟む二つの要素の弾性係数のうち小さい方の値を用いて決定した。鋼棒、グラウト間のせん断ばね定数(付着ばね)の値は梶川ら²⁾の実験値を参考にして決定した。コンクリート及びグラウトの圧縮及び引張特性を図-4に示すように仮定した。垂直応力とせん断応力の関係はモール・クーロンの降伏条件を採用した。鋼棒、グラウト間の付着ばねのせん断応力-ひずみ曲線を図-5に示すように仮定した。また、鋼棒は完全弾塑性として取り扱った。計算に用いた材料定数を表-1に示す。

4. 計算結果

アンカーの変形を図-3に実線で示す。図から、変形は鋼棒部分が主であり、他の部分での変形はほとんど起こっていない。また、上部の鋼棒とグラウトの間の付着ばねがモール・クーロン破壊を起こしている。図-6に、引き抜き荷重とそれを加えた鋼棒先端の変位の関係を、実験値は○印で、計算値は実線で示す。図から、図-5の付着ばねの応力-歪曲線に対応して、僅かな変位でばねの一次降伏による非線形性が現れ、つづいてしばらく線形状態がつづき、最終的にばねの二次降伏によって勾配が緩やかになっていることがわかる。実験値もほぼ計算値と同様な傾向を示しており、若干の差異はあるが両者はよく一致していることがわかる。また、二次降伏とともに付着ばねのモール・クーロン破壊が上部から進行し、最終的には実験と同様に鋼棒の引っ張り破壊が起こっている。以上の結果、ハイバックアンカーに引き抜き荷重を加えた場合、鋼棒、グラウト間の付着ばねの降伏及びモール・クーロン破壊が起こることがわかった。そのため、アンカーの数値計算を行う場合、付着ばねの応力-ひずみ曲線を的確に表現することが重要であることがわかった。応力-ひずみ曲線を的確に表現すれば、剛体-ばねモデルを用いた本計算方法により、ハイバックアンカーの応力形態をよく表わす事ができることがわかった。

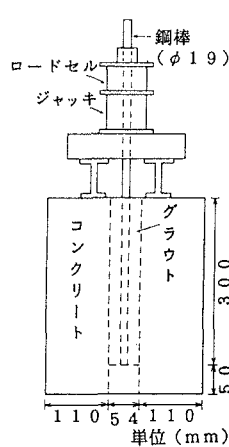


図-2 アンカーの引き抜き試験概略図

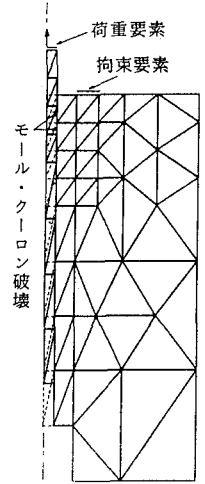


図-3 要素分割及び変形図

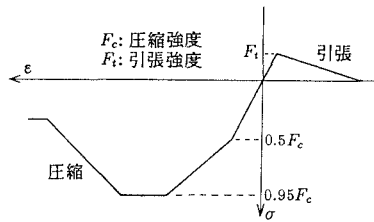


図-4 コンクリート及びグラウトの材料特性曲線

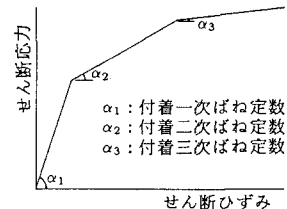


図-5 付着ばねの応力-ひずみ曲線

表-1 材料定数

コンクリート	弾性係数 (kgf/cm ²)	2.18×10^4
	ポアソン比	0.15
	圧縮強度 (kgf/cm ²)	215
	引張強度 (kgf/cm ²)	20
グラウト	弾性係数 (kgf/cm ²)	1.30×10^4
	ポアソン比	0.15
	圧縮強度 (kgf/cm ²)	218
	引張強度 (kgf/cm ²)	20
鋼棒	弾性係数 (kgf/cm ²)	2.10×10^4
	ポアソン比	0.30
	降伏強度 (kgf/cm ²)	4.0×10^3
付着	付着一次ばね定数 (kgf/cm ²)	4.5×10^3
	付着二次ばね定数 (kgf/cm ²)	0.32×10^3
	付着三次ばね定数 (kgf/cm ²)	0.14×10^3

1) 出光隆他: ハイバックアンカーのグラウト強度と周面抵抗に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, 12-1, 1990.

2) 梶川康男他: プレキャストPC部材接合部の剛体-ばねモデルによる挙動解析, 土木学会論文集, No.437/I-17, pp.105 ~ 113, 1991.10

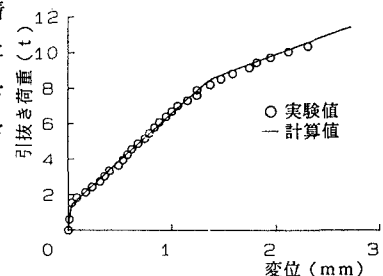


図-6 鋼棒に対する引抜き荷重-変位曲線