

グラウンドアンカーを用いた構造物外的安定の設計方法

弘和産業(株) 正会員 川崎 廣貴
同上 野口 明

1. はじめに

既設構造物や新設構造物の耐震性等の外的安定をより向上する目的で、グラウンドアンカー(以下、アンカー)によるプレストレス補強対策が使用される。対象構造物は、橋台・擁壁・砂防堰堤・ダム・岸壁・防波堤・建物など多岐にわたっている。当該構造物の外的安定の設計は、一般に滑動・転倒・支持力の3安定モードで照査する。アンカーによるプレストレスは、本抵抗力が外力の起動力以上の場合に、構造物の変位挙動を抑止でき、その安定性が確保できる。

構造物の外的安定のアンカー設計では、滑動・転倒・支持力で剛体モードの安定状態を仮定して所要の計画安全率を満足するように、必要アンカー力を求める。一方、アンカーが構造物を通過する箇所によっては、構造物変形状態を見込んだ適正なアンカー仕様を設定する必要があるのが留意点である。特に、アンカー傾角が90°付近の急角度で、構造物の基礎底面を通過するようにアンカー設置の場合は、転倒安定で計画安全率や許容偏心量を満足させても、基礎底面アンカー位置が浮上ることがあるので、この変位を考慮したアンカー仕様の設計が重要である。

こうした観点を踏まえ、ここでは、構造物外的安定の確保を目的としたアンカー設計方法を整理し、一連の設計式を取りまとめたので、その内容を報告する。

2. 構造物外的安定のアンカー設計方法

図-1に、構造物荷重とアンカー力の概念を無対策とアンカー対策で示す。同図に示すように、基礎幅 B 、モーメントの起点は、 o 点であり、アンカープレストレスは、アンカー定着点で設計アンカー力 T_d を作用させることで、構造物が地盤に固着される。表-1に、アンカー設計に必要な構造物とアンカーの設計条件を示す。同表に示すように、安定条件は滑動計画安全率 F_{slp} 、転倒でモーメント計画安全率 F_{s2p} と許容偏心比 $E_{cp}=e/B$ 、許容支持力 q_a である。アンカープレストレスによる構造物付加抵抗力は、鉛直力 V_a ・水平力 H_a ・抵抗モーメント M_a である。

図-2に、構造物基礎底面でのアンカー浮上り変位の状態を示す。同図に示すように、アンカー線の基礎底面通過位置(底面アンカー点) x_a が反力零点 x_0 を超えるとアンカーに浮上り変位 δ_{ya} が発生するのが分かる。例えば、転倒の許容偏心比 $E_{cp}=e/B$ が $E_{cp}=1/3$ の場合、反力零点は $B/2$ であることから、底面アンカー点 $x_a > x_0 = B/2$ の条件となり、アンカーには浮上り変位 δ_{ya} が発生する。

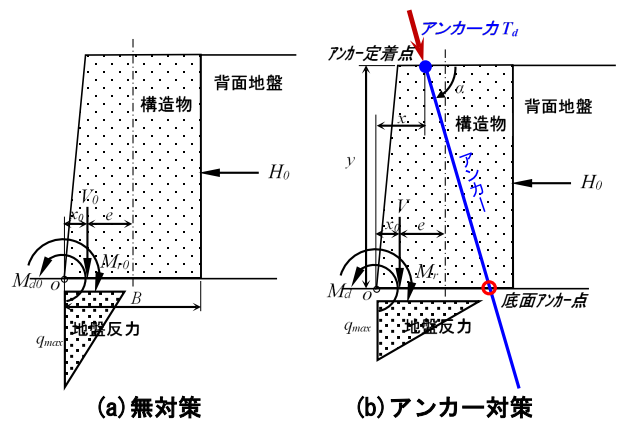


図-1 構造物荷重とアンカー力の概念

表-1 構造物とアンカーの設計条件

項目	記号	内容	単位
構造物条件と安定条件	L, B	構造物の基礎長、基礎幅	m
	μ	滑動安定の摩擦係数	—
	F_{slp}	滑動計画安全率	—
	F_{s2p}	転倒モーメント計画安全率	—
	E_{cp}	転倒許容偏心比 $=e/B$	—
構造物の荷重条件	V_0, H_0	鉛直力、水平力	kN/m
	M_{r0}, M_{d0}	抵抗、起動モーメント	kNm/m
	x, y	アンカー定着点座標	m
	α	アンカー傾角	$^{\circ}$
	x_a	底面アンカー点 x 座標	m
アンカー条件	T_d	設計アンカー力(プレストレス)	kN/m
	V_a, H_a	アンカーの鉛直力、水平力 $V_a = T_d \sin \alpha, H_a = T_d \cos \alpha$	kN/m
	M_a	アンカーの抵抗モーメント $M_a = T_d \cdot a_0 = T_d (x \cdot \sin \alpha + y \cdot \cos \alpha)$	kNm/m
作用力条件	V	全鉛直力 $=V_0 + V_a$	kN/m
	M	全モーメント $=M_{r0} - M_{d0} + M_a$	kNm/m

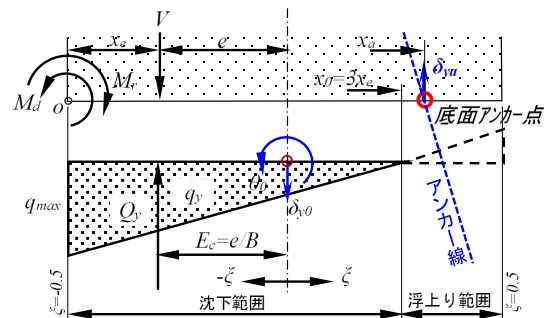


図-2 底面アンカーの浮上り変位

キーワード : グラウンドアンカー、構造物、外的安定、浮上り変位、設計方法、必要抑止力
連絡先 : 〒198-0023 東京都青梅市今井 3-3-12 弘和産業(株) TEL:0428-32-2811

表-2 に、構造物外的安定のアンカー設計に必要な各設計式を示す。同表には、構造物安定設計での各安全率等の設計式、各安定モードを満足するためのアンカーの必要抑止力 $P_{r1} \sim P_{r4}$ と底面アンカー一点浮上り零の必要抑止力 P_{r5} 、底面アンカー一点の浮上り変位 δ_{ya} 、浮上り考慮の必要アンカー力 T_{ru} の各設計式を示す。

式(9)は、構造物前趾側の地盤反力を軽減することで、前面側への地中応力影響を小さくする場合に適用する。例えば、岸壁増深での前面側自立鋼管矢板の様縮減に活用できる。式(10)は底面アンカー一点を浮上り零にする抑止力 P_{r5} であり、これを採用する場合は、式(11)、(12)の検討は不要になる。

式(11)は、基礎底面のアンカー一点浮上り変位 δ_{ya} を設計するものであり、鉛直方向の変位成分 δ_y と分布力 q_y 、および鉛直力 V とモーメント M の釣合い式を基に導いている。なお、本式の地盤反力係数 k_v は道路橋示方書に則ったものであり、準拠規準により適宜修正する必要がある。式(12)は、浮上り変位 δ_{ya} からの浮上り増加アンカー力 $\Delta T = EA/L_f \cdot \delta_{ya}$ と、これに各安定に必要な抑止力 $\max(P_{r1} \sim P_{r4}) \cdot a_p$ を加え、アンカー1本当たりの浮上り考慮必要アンカー力 T_{ru} を求めている。これによるアンカー仕様の設定で浮上り変位に伴う増加アンカー力を含めて、所要の安全性を有するアンカープレストレス性能が発揮できる。

3. アンカー設計上の留意点

橋台・擁壁や岸壁などの背面地盤を有する構造物のアンカー対策では、図-3(b)に示すように、構造物復元時に水平外力が小さくなくても、背面地盤の受働抵抗で浮上り変位が戻らず、地震などの外力作用の繰返し毎に増加アンカー力が累積する懸念がある。この設計上での留意が必要である。

一方、支持力の限界すべり線は、図-4 に示すように荷重作用で領域Ⅰ～領域Ⅲの順に進展するので、アンカー傾角が急角度～90°のアンカーでの、アンカー体の設置範囲は領域Ⅰ、Ⅱを避け、構造物の基礎幅 B の 1.0～1.5 倍程度の深度への設置が望ましいと考える。

4. おわりに

近年、構造物の安定対策でアンカー工法の適用事例が増加しているが、設計方法や適用方法の考え方にばらつきが見られている。本研究では、転倒モードの設計不明事項に焦点を当て、関連する一連の安定モードの抑止力設計式を明らかにし、実務での利用に心掛けた。本論文が何らかの参考になれば、幸甚である。

表-2 構造物外的安定のアンカー設計

項目	記号	設計式	単位	No.
【(1) 構造物安定設計】				
滑動	F_{s1}	=抵抗力 R /滑動力 $D=(\mu V+H_0)/H_0$	—	(1)
転倒モーメント	F_{s2}	=抵抗モーメント M_r /起動モーメント $M_d=(M_{r0}+M_a)/M_{d0}$	—	(2)
転倒偏心率	E_c	= $e/B=0.5-M/(BV)$	—	(3)
支持力(地盤反力)	q_{max}	= $2V^2/(3M)$	$kN/m^2/m$	(4)
反力零点	x_0	= $3M/V=3B(0.5-E_c)$	m	(5)
【(2) アンカーの必要抑止力設計】				
滑動	P_{r1}	= $(F_{s1}H_0-\mu V_0)/(\cos\alpha+\mu\sin\alpha)$	kN/m	(6)
転倒モーメント	P_{r2}	= $(F_{s2}M_{d0}-M_{r0})/a_0$	kN/m	(7)
転倒偏心率	P_{r3}	= $(M_{d0}-M_{r0}+B(0.5-E_{cp})V_0)/(B(E_{cp}-0.5)\sin\alpha+a_0)$	kN/m	(8)
支持力(地盤反力)	P_{r4}	= $(a_1\sqrt{a_1^2-a_2a_3})/a_2$ $a_1=3a_0-4V_0\sin\alpha/q_a$, $a_2=4\sin^2\alpha/q_a$, $a_3=4V_0^2/q_a+6(M_{d0}-M_{r0})$	kN/m	(9)
底面アンカー一点浮上り零	P_{r5}	= $(0.5V_0 \cdot x_a+1.5(M_{d0}-M_{r0}))/a_0$	kN/m	(10)
【(3) 底面アンカー一点の浮上り設計】				
アンカー一点浮上り変位	δ_{ya}	= $\delta_{y0}+(x_a-B/2)\theta_0$	mm	(11)
		$\delta_{y0}=(BV/2-M)b_2-BVb_3/b_4$, $\theta_0=(V/2-M/B)b_1-Vb_2/b_4$	$mm, rad/mm$	
		$b_1=1.5-3E_c$, $b_2=1/8-(3E_c-1)^2/2$	—	
		$b_3=1/24-(3E_c-1)^3/3$, $b_4=B^2k_v(b_1b_3-b_2^2)$	—	
		k_v : 地盤反力係数 = $E_0(L \cdot x_0)^{0.5}/(0.3)^{3/4} \alpha_0/0.3$	MN/m^3	
E_0 : 地盤変形係数 (例えば、=2.8N)	MN/m^2			
α_0 : 換算係数 (長短期=1.0、地震時=2.0)	—			
【(4) アンカーの浮上り力設計】				
浮上り考慮必要アンカー力	T_{ru}	= $\max(P_{r1} \sim P_{r4}) \cdot a_p+EA/L_f \cdot \delta_{ya}$ a_p : アンカー間隔 E : テンドンヤング率 (=0.195) A : テンドン断面積 L_f : アンカー自由長	$kN/本$ m MN/mm^2 mm^2 m	(12)

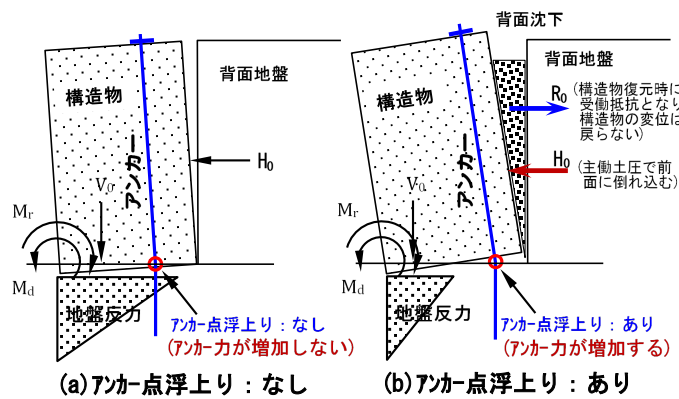


図-3 転倒モードとアンカー力増加の概念

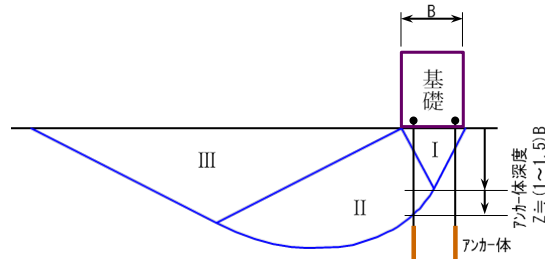


図-4 適正なアンカー体の設置範囲