

## ひび割れを考慮したあと施工アンカー引抜き耐力式の提案

日本ヒルティ(株) 正会員 ○石原 力也

日本ヒルティ(株) 正会員 高橋 宗臣

### 1. 目的

コンクリートに発生するひび割れのひび割れ幅が、構造物として有害ではなく補修を必要としないひび割れであっても、あと施工アンカーの固着部分の深さまで発生した場合は、引抜き耐力はじめ耐久性に影響を及ぼすことが確認されている。土木学会発行の「コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針(案)」標準編には、あと施工アンカー部およびその周辺部の母材コンクリートに「供用時に何らかの理由でひび割れが発生した場合には、ひび割れの影響を考慮して、設計時のあと施工アンカー部の耐力を再評価する必要がある。」とされている。しかしながら供用中のあと施工アンカーは、様々な使用状況や固定状況等により、交換や移設が容易には出来ないのが現状である。本文では、コンクリートにひび割れが発生した後のあと施工アンカーの力学的性能を設計時に考慮し、リダンダンシーも含めた安全性の高いあと施工アンカーの設計を可能にするためのひび割れの影響を考慮した設計引抜き耐力式を提案する。

### 2. ひび割れを考慮したあと施工アンカー設計の流れ

図-1 にアンカー新設時におけるひび割れの影響を考慮した設計の流れを示す。アンカー施工後にコンクリートのひび割れ発生の有無をあらかじめ想定し、想定有りの場合は、著者がこれまで提案している PIPE 式ひび割れ性能試験により、付着強度、ひび割れ低減係数、変動係数を評価し低減係数を用いて引抜き耐力を算出する。

図-2 にアンカー供用時(点検時)における設計の流れを示す。既設のアンカー周辺にひび割れが発生した場合、注入補修の有無に分かれ、補修無しの場合は、新設時と同様の評価により引抜き耐力を算出する。補修有りの場合は、PIPE 式ひび割れ性能試験を注入補修した試験体アンカーを対象に実施する。しかしながら、コンクリートのひび割れには進行性もあることから、一度注入補修した後のひび割れの再発時の対応に関してはこの限りではない。また、ひび割れへの十分な注入方法とその確認方法は確立されていないのも課題の一つである。

### 3. ひび割れを考慮したアンカー引抜き耐力式

図-3 に土木学会の設計方法に著者らの実験で得られた残存率を用いて、ひび割れ幅 0.3mm における低減係数を設定し、コンクリートのひび割れを考慮した式を提案する。表-1 に ETAG 式と ACI 式のひび割れ想定ありの低減係数を示し、表-2 に PIPE 式ひび割れ性能試験による低減係数を示す。試験データで得られた引抜き耐力の 95%信頼値から、ひび割れ無しの引抜き耐力を基準とし

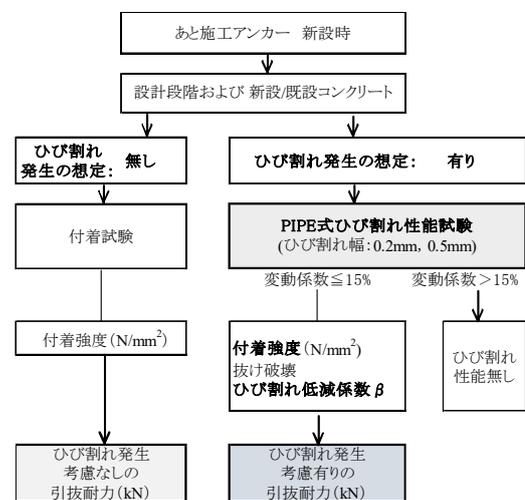


図-1 アンカー新設時の設計の流れ

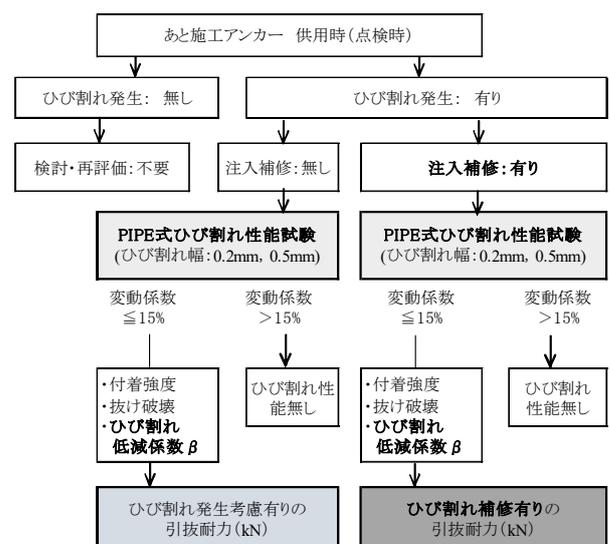


図-2 アンカー供用時の設計の流れ

キーワード あと施工アンカー, ひび割れ, 引抜き耐力, 設計耐力式, PIPE 式ひび割れ性能試験

連絡先 〒224-8550 神奈川県横浜市都筑区茅ヶ崎南 2-6-20 日本ヒルティ(株)技術本部 TEL 0120-66-1159

てひび割れ幅0.2mmと0.5mmにおける残存率を算出し、その平均値をひび割れ幅0.3mmにおけるひび割れ低減係数と設定し、コンクリートコーン状破壊耐力と付着破壊耐力のひび割れ低減係数 $\beta_c$ 、 $\beta_p$ とする。

また接着系の付着破壊耐力は、PIPE 式ひび割れ性能試験（拘束試験）結果から設計付着強度を設定する。

図-4 に提案式を用いて算出した接着系アンカーの引抜き耐力結果を示す。

金属系アンカーは、ひび割れ低減係数 $\beta_c$ を乗じることにより、ひび割れ幅0.3mmにおけるコーン状破壊耐力の算出が可能となった。

接着系アンカーは、土木学会で一律に設定されている付着応力(10N/mm<sup>2</sup>)に代わり、PIPE 式ひび割れ性能試験（拘束試験）結果から、ひび割れが無い条件における付着応力を評価し、ひび割れ幅0.3mmにおける付着破壊耐力は、ひび割れ無い条件における付着応力にひび割れ低減係数 $\beta_p$ を乗じた値を、ひび割れ幅0.3mmにおける付着応力と設定することで、耐力の算定が可能となった。コーン状破壊耐力は、金属系アンカーと同様にひび割れ低減係数 $\beta_p$ を乗じることにより、ひび割れ幅0.3mmにおけるコーン状破壊耐力の算出が可能となった。

4. まとめ

あと施工アンカー新設時と供用時にて、コンクリートのひび割れ発生を有り無しで想定し、土木学会の耐力式に基づく評価方法を提案し検証した結果、PIPE 式ひび割れ性能試験から評価するひび割れ低減係数より、ひび割れを考慮したあと施工アンカーの引抜き耐力の算定が可能であることを示した。

今後の課題は、本評価方法ではひび割れ発生直後の状態を対象としているのでひび割れに加えて、水や温度、振動などが複合的に作用した場合の評価や算定方法の確立が期待される。

参考文献

- 1)公益社団法人土木学会 コンクリート委員会：コンクリートライブラリー141 コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針（案），公益社団法人土木学会，2014年3月31日
- 2) コンクリート工学年次論文集：高橋宗臣，佐藤靖彦，石原力也：日本と欧米のあと施工アンカー設計手法の比較，Vol.40, No.2, pp.571-576, 2018年

表-1 ETAG と ACI のひび割れ想定ありの低減係数

耐力	ひび割れ想定	ETAG 式		ACI 式	
		ウエッジ式	拡底式	ウエッジ式	拡底式
コーン状破壊耐力	なし $k_{ucr}$	10.1	11.6	24	24
影響係数	あり(幅 0.3mm) $k_{cr}$	7.2	8.3	17	24
付着破壊耐力	なし	$\tau_{Rk,ucr} : 15 \text{ (N/mm}^2\text{)}$		$\tau_{ucr} : 1960 \text{ (psi)}$	
	あり(幅 0.3mm)	$\tau_{Rk,cr} : 8 \text{ (N/mm}^2\text{)}$		$\tau_{cr} : 1240 \text{ (psi)}$	
コーン状破壊低減率	あり(幅 0.3mm)	0.71	0.72	0.71	1.0
付着破壊低減率	あり(幅 0.3mm)	0.53		0.63	

表-2 PIPE 式ひび割れ性能試験による低減係数

耐力	ひび割れ想定	単位	芯棒打込式	ウエッジ式	接着系注入式
引抜き耐力 (95%信頼値)	なし	kN	24.0	36.6	65.4
	あり(幅 0.2mm)	kN	17.3	26.2	50.1
	あり(幅 0.5mm)	kN	11.4	15.4	32.9
残存率①(幅 0.2mm)	あり(幅 0.2mm)	%	0.72	0.71	0.76
残存率②(幅 0.5mm)	あり(幅 0.5mm)	%	0.47	0.42	0.50
ひび割れ低減係数 $\beta_c$ (コーン状破壊耐力)	あり(幅 0.3mm)		0.60	0.57	—
ひび割れ低減係数 $\beta_p$ (付着破壊耐力)	あり(幅 0.3mm)		—	—	0.63

【金属系アンカー】

➤コンクリートコーン状破壊耐力

$$\text{ひび割れ想定無し} : T_{cd} = K_t \cdot 0.31 \cdot A_c \cdot \sqrt{f'_{cd}} / \gamma_b \quad (\text{kN})$$

$$\text{ひび割れ想定有り} : T_{cd} = K_t \cdot \beta_c \cdot 0.31 \cdot A_c \cdot \sqrt{f'_{cd}} / \gamma_b \quad (\text{kN})$$

【接着系アンカー】

➤付着破壊耐力

$$\text{ひび割れ想定無し} : T_{cd} = K_t \cdot \pi \cdot D_a \cdot l_e \cdot \tau_{ucr} / \gamma_b \quad (\text{kN})$$

$$\text{ひび割れ想定有り} : T_{cd} = K_t \cdot \pi \cdot D_a \cdot l_e \cdot \beta_p \cdot \tau_{ucr} / \gamma_b \quad (\text{kN})$$

➤コンクリートコーン状破壊耐力

$$\text{ひび割れ想定無し} : T_{cd} = K_t \cdot 0.23 \cdot A_c \cdot \sqrt{f'_{cd}} / \gamma_b \quad (\text{kN})$$

$$\text{ひび割れ想定有り} : T_{cd} = K_t \cdot \beta_p \cdot 0.23 \cdot A_c \cdot \sqrt{f'_{cd}} / \gamma_b \quad (\text{kN})$$

$K_t$  : 使用期間の係数 (短期 1.0 長期 0.5)  $f_{yk}$  : 降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $A_s$  : 有効断面積 (mm<sup>2</sup>)  $\gamma_b$  : 部材係数 (鋼材=1.1, コンクリート=1.6)  
 $A_c$  : 有効水平投影面積 (mm<sup>2</sup>)  $D_a$  : アンカー本体直径 (mm)  
 $f'_{cd}$  : コンクリートの設計圧縮強度=34.2 (N/mm<sup>2</sup>)

$\beta_c$   $\beta_p$  : ひび割れ低減係数 ※ PIPE 式ひび割れ性能試験の評価値  
 $\tau_{ucr}$  : 設計付着応力 (N/mm<sup>2</sup>) ※ PIPE 式ひび割れ性能試験の評価値

図-3 ひび割れを考慮した引抜き耐力式

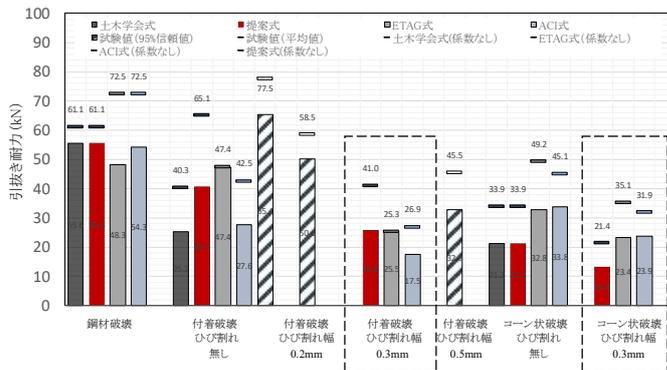


図-4 設計耐力および試験値（接着系アンカー）