

論文 日本と欧米のあと施工アンカー設計手法の比較

高橋 宗臣*1・佐藤 靖彦*2・石原 力也*3

要旨: あと施工アンカーの設計手法は、日本の仕様規定型と海外の性能規定型では大きく異なる点を、設計手法の基本的な違いについて、対象範囲、要求性能、作用と荷重の違い、照査方法および安全係数について、土木学会と海外発行の設計手法を比較した。その結果を通じて、あと施工アンカー設計の高度化を目指し、アンカーの性能を引き出すための提案を行った。

キーワード: あと施工アンカー、安全係数、力学作用、環境作用、Design Resistance

1. はじめに

日本においてコンクリート構造物などに付帯物を留め付けるためや、耐震補強用にシアコネクターの役目として、あと施工アンカー（以下、アンカーという）は多く使われているが、土木や建築分野に共通する設計や技術基準が存在していないことを理解しておく必要がある。またアンカーには、軽量物、中量物、重量物を留め付けるために様々な種類や形状のものが存在し、施工方法も様々であることは、公益社団法人日本コンクリート工学会 あと施工アンカーの耐久性の評価方法の確立と設計の高度化研究委員会発行のあと施工アンカーの耐久性評価と設計方法の高度化に関するシンポジウム 委員会報告書¹⁾においても報告されている。

一方、海外においては、日本と同様に付帯物の留付けや柱脚の固定と、部材と部材の接合に鉄筋定着として用いられているケースもある。そして近年では、アンカーに地震力が作用した場合の性能評価制度や設計方法が示されている。

このように、アンカーの設計手法は、日本の仕様規定型と海外の性能評価型で大きく異なる点がある。そこで、本論文において、その違いを明確にし、我々が目指すべき設計法の今後の方向を提案する。

2. 設計手法の基本的な違いについて

2.1 アンカー設計法の特徴

土木学会発行の「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)」¹⁾ (以下、JSCE という) の標準編においては、アンカー部の破壊が、構造物や部材の耐力や変形に影響を及ぼさない場合を対象としている。欧州技術認証機構 (EOTA) 発行の ETAG001 GUIDELINE FOR EUROPEAN

TECHNICAL APPROVAL OF METAL ANCHORS FOR USE IN CONCRETE Annex C: DESIGN METHODS FOR ANCHORAGES²⁾ (以下、ETAG という) やアメリカコンクリート工学会 (ACI) 発行の ACI318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary³⁾ (以下、ACI という) においては、限界状態設計を採用しており、設計に用いるためのアンカー特性値や材料係数を評価する基準も一対に考えている点が大きな特徴である。

日本で行っているアンカーの一般的な設計では、金属系と接着系アンカーに大別して、設計耐力を求める。その設計耐力に、施工性のバラツキ、使用する (供用する) 期間に応じた安全係数などを一律に考慮する。そして一般的な環境下で使用され、固着する母材は、強度と健全性が確認されたものとしている。

欧米では、金属系と接着系アンカーに大別されている点は同じであるが、製造者、アンカーサイズ、穿孔方法や施工性によってバラツキの大きさが違うという認識を定量的に表現している。さらに、使用する期間や環境条件などを想定してその影響度合いに応じて、ETAG と ACI が基準化した試験結果から評価し、その製品特性値と材料係数を直接用いて設計耐力とする手法を取っている点が JSCE とは大きく異なる。そのため、供用期間や設計対象の環境条件、母材の種類などが明確に示されている。

2.2 要求性能

JSCE におけるアンカーの要求性能は、適用した構造物の設計耐用期間と使用目的に応じて、安全性や使用性を設定する必要がある。そして、アンカーが供用期間に破壊しないことを前提とすると、構造物と同等の耐久性が求められるため環境性についても、考慮しなければならない場合もあるとしている。ETAG や ACI においても、

*1 日本ヒルティ (株) 技術本部 修士 (工学) (正会員)

*2 北海道大学大学院 北方圏環境政策工学部門 准教授 博士 (工学) (正会員)

*3 日本ヒルティ (株) 技術本部 (正会員)

求められる性能は、上述通りであるが、耐久性や環境性に施工性を加えた検証試験内容を基準化して、個々のアンカー性能を考慮している。そのため、使用者はそれぞれのアンカーの特性を設計する際に知ることが可能となる。ただし、共通して供用期間中の維持管理の方法や管理計画を含めた要求性能を設定することが課題となっている。

2.3 作用

アンカーを設計する上では、死荷重や活荷重等の力や重量等をモデル化したものを考慮するだけではなく、環境からの作用を含むものを考慮する必要がある。JSCE では静的作用と動的作用に大きく大別している。そして静的作用は、死荷重等の永続作用はもとより、風荷重や偏心荷重等のように静的作用としてモデル化できる変動作用とし、動的作用では地震力や衝撃等の偶発作用、繰返し荷重、疲労等の変動作用の中から、その組み合わせを適切に選定して、適切な大きさの設計作用を定める必要があるとしている。ETAG や ACI においても、アンカーの設計をする上でも永続、変動および偶発作用を定めることが必要としている。

2.4 照査方法

アンカーの安全性照査は、破壊の限界状態に至らないことを確認するのは、JSCE, ETAG, ACI においては共通している。そして JSCE では、材料力学や構造力学機構に基づく数理モデルによるか、あるいは実験等により実証するのを原則として、既往の実績や経験を総合して検証された方法がある場合は、定量的に検証された耐力式や経験則を用いて良いとしている。ETAG や ACI においては、原則として実験によってアンカーの安全性照査を行うこととしており、使用するアンカーや母材となるコンクリートや煉瓦、施工条件、作業の難易度など実際の施工方法を再現して確認している。

2.5 安全係数

JSCE ではアンカーに対して、材料係数と部材係数を考慮し、さらに使用期間の長さの影響係数を考慮して設計耐力を算定する。ETAG においては、製品特性値を評価する際に行われる試験から、施工安定性、長期耐久性、温度特性、材料特性およびコンクリート母材品質のばらつき係数 1.5 を組み合わせた材料係数を考慮して設計耐力を算定する。ACI においても、製品特性値を評価する際に行われる試験結果から、施工安定性に関する係数が考慮されて設計耐力とする。

3. 安全性に対する照査方法の違い

日本と欧米のアンカー設計における安全性の照査方法は、JSCE の 85 頁にある設計例 2 の応答値の条件 (図-1) を用いて、金属系アンカーと接着系アンカーについて

JSCE, ETAG および ACI の照査方法を比較した。3つの耐力の算定を比較するにあたり、ETAG と ACI にて製品特性値評価を得ている製品を選定してから今回は行った。また ACI で設計する場合は、計量単位系に対する定数や係数が用いられた式および計量単位系の製品評価書となっているため、最終的な耐力計算結果において SI 単位系に変換して比較した。

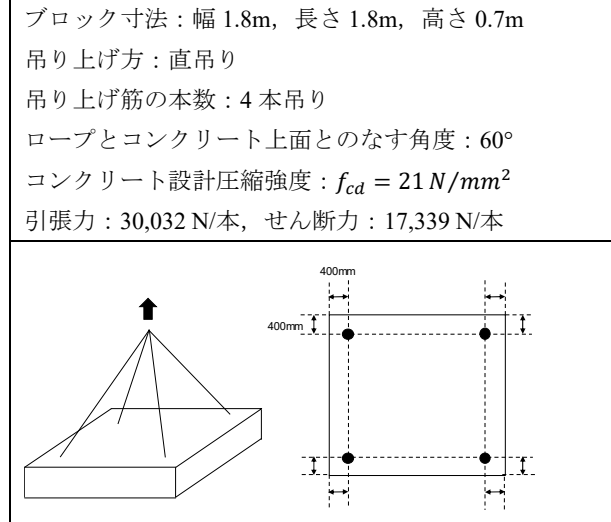


図-1 設計例 2 の応答値の条件

3.1 金属系アンカーの耐力の算定

ここで今回選定した金属系アンカーの共通緒元を表-1 に示す。そして、ETAG と ACI で設計するために用いた製品評価書から必要な特性値一覧を表-2 と表-3 に示す。次に、比較する耐力は、JSCE は供用期間が短期間であることとし、ETAG や ACI では Design Resistance (設計耐力) と比較することとした。そして鋼材破壊耐力、コンクリートコーン状破壊耐力をそれぞれ算出して比較した。

表-1 設計比較に用いた金属系アンカー共通緒元

種類 (炭素鋼)	コーンナット式アンカー
サイズ	M24 / 1 in
引張強度	800 N/mm ² / 116,000 lb/in ²
降伏強度	640 N/mm ² / 92,800 lb/in ²
有効断面積	353 N/mm ² / 0.547 in ²
埋込み長さ	150 mm / 5.91 in

表-2 金属系アンカー特性値 : ETA-02/0042 07/09/2015

Steel failure		
Characteristic resistance	$N_{Rk,s}$	282.4 kN
Partial safety factor	$\gamma_{M,s}$	1.5 ^{*1}
Pullout failure		
Characteristic resistance in non-cracked concrete C20/25	$N_{Rk,p}$	not decisive

Characteristic resistance in cracked concrete C20/25	$N_{Rk,P}$	not decisive
Increasing factor C30/37 C40/50 C50/60	ψ_c	1.22
		1.41
		1.55
Partial safety factor	$\gamma_{M,p}^{*2}$	1.5
Concrete cone failure		
Factor for Cracked	k_{cr}^{*3}	7.2
Factor for Non-cracked	k_{ucr}^{*3}	10.1
Spacing	$s_{cr,N}$	$3 \times h_{ef}$
Edge distance	$c_{cr,N}$	$1.5 \times h_{ef}$
Spacing (splitting)	$s_{cr,sp}$	570
Edge distance (splitting)	$c_{cr,sp}$	285
Partial safety factor	$\gamma_{M,c} = \gamma_{M,sp}^{*2}$	1.5

*1 In absence of national regulations.

*2 Partial safety factor $\gamma_2 = \gamma_{inst}$ is included.

*3 Parameter relevant only for design according to CEN/TS 1992-4:2009

表-3 金属系アンカー特性値 : ESR-15452 03/2016

Anchor category		1
Strength reduction factor for tension, steel failure modes	ϕ	0.75
Strength reduction factor for tension, concrete failure modes (Cond.A)	ϕ	0.75
Effectiveness factor for uncracked concrete	k_{ucr}	24
Effectiveness factor for cracked concrete	k_{cr}	24
Modification factor for cracked and uncracked concrete	$\psi_{c,N}$	1.0
Tension pullout strength seismic	$N_{p,eq}$	14,320 lb
Minimum concrete thickness	h_{min}	11 7/8 in
Critical edge distance	c_{ac}	8 7/8 in
Minimum edge distance	c_{mim}	5 7/8 in
Minimum anchor spacing	s_{mim}	11 7/8 in

(1) 金属系アンカーの鋼材破壊耐力

金属系アンカーの場合の設計鋼材破壊耐力においては、表-4の通りとなる。JSCEは降伏強度を材料係数で除した値に短期間の使用係数を考慮する。ETAGでは引張強度を部分安全係数1.5で除した値、ACIでは引張強度に0.75を乗じた値を設計鋼材破壊耐力となる。

表-4 設計鋼材破壊耐力

JSCE	$T_{yd} = K_t \cdot f_{yk} \cdot A_s / \gamma_b = 205 \text{ (kN)}$ K_t : 使用期間の長さの影響を表す係数 (長期間 0.5, 短期間 1.0) f_{yk} : 降伏強度, A_s : 有効断面積 γ_b : 材料係数 (一般に, 1.1)
ETAG	$N_{Rd,s} = f_{uk} \cdot A_s / \gamma_{M,s} = 188 \text{ (kN)}$ f_{uk} : 引張強度, A_s : 有効断面積 $\gamma_{M,s}$: 部分安全係数 1.5
ACI	$\phi \cdot N_{sa} = \phi \cdot f_{uk} \cdot A_s = 212 \text{ (kN)}$ ϕ : 引張に対する低減係数 0.75 N_{sa} : 引張耐力, f_{uk} : 引張強度, A_s : 有効断面積

(2) 金属系アンカーのコンクリートコーン破壊耐力

JSCEにおけるコンクリートコーン状破壊耐力の検討は、コンクリート母材の円錐上に破壊する先端からの角度が45°と35°という違いがある。またJSCEでは金属系アンカー一律の低減係数0.31を用いて計算されたものを終局耐力と評価し、材料係数1.6を用いて設計耐力としている。欧米ではひび割れの発生を想定しない場合とする場合を分けた上で、母材コンクリートのバラツキを示す材料係数 $\gamma_c = 1.5$ とアンカーの施工安定性 γ_2 を3段階に評価した際に与えられる係数1.0, 1.2または1.4と掛け合わせた部分安全係数 $\gamma_{M,c}$ で除して設計耐力している。表-5に検討結果を示す。

表-5 設計コンクリートコーン破壊耐力

JSCE	$T_{cd} = K_t \cdot 0.31 \cdot A_c \cdot \sqrt{f_{cd}} / \gamma_b / 1000 = 55 \text{ (kN)}$ $A_c = \pi \cdot h_{ef} (h_{ef} + D_a) = 85577 \text{ (mm}^2)$ K_t : 使用期間の長さの影響を表す係数 1.0 A_c : 有効水平投影面積 f_{cd} : 母材コンクリートの設計圧縮強度 γ_b : 材料係数 (一般に, 1.6) h_{ef} : 有効埋込み長さ D_a : アンカー本体の直径
ETAG	ひび割れの発生を想定しない場合 $N_{Rk,c} = k \cdot \sqrt{f_{c,cube}} \cdot h_{ef}^{1.5} / \gamma_{M,c} / 1000 = 62 \text{ (kN)}$ $= 10.1 \cdot \sqrt{25} \cdot 150^{1.5} / 1.5$ ひび割れの発生を想定する場合 $N_{Rk,c} = k \cdot \sqrt{f_{c,cube}} \cdot h_{ef}^{1.5} / \gamma_{M,c} / 1000 = 44 \text{ (kN)}$ k : コンクリートコーン破壊係数 (ひび割れ考慮有: 7.2, 考慮無: 10.1) $f_{c,cube}$: コンクリート圧縮強度 *ここでは, $f_{cd} : 21 = f_{c,cube} : 25$ とする h_{ef} : 有効埋込み長さ $\gamma_{M,c}$: 部分安全係数 1.5
ACI	ひび割れの発生を想定しない場合 $\phi N_{cbg} = \phi \cdot k_c \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f'_c} \cdot h_{ef}^{1.5}$ $= 20763 \text{ (lbf)} = 92.3 \text{ (kN)}$ *ここで, 1.0 (lbf) = 4.4482 (N)とする $\phi N_{cbg} = 0.75 \times 92.3 = 69.2 \text{ (kN)}$ ひび割れの発生を考慮する場合も同じ ϕ : 引張に対する低減係数 0.75 k_c : コンクリートコーン破壊係数 λ_a : 軽量コンクリートによる低減係数 f'_c : コンクリート圧縮強度 *ここでは, $f_{cd} : 21 = f_c : 3626$ とする h_{ef} : 有効埋込み長さ

(3) その他

金属系アンカーの設計耐力を算出していく上で、ETAG と ACI においては、アンカー自体が抜け出す破壊が存在するかを製品評価時に確認している。抜け出し破壊形式が存在する場合は、製品特性値は小さく、部材係数は大きく評価している。そのため外見上同じようなアンカーであっても、製造者や種類が変わると大きく設計耐力が変わる場合がある。そして ETAG のみであるが、割裂破壊耐力も算出し、アンカーの設計耐力の検討の 1 つとしている。表-6 に鋼材、コーン破壊、抜け破壊結果を示す。

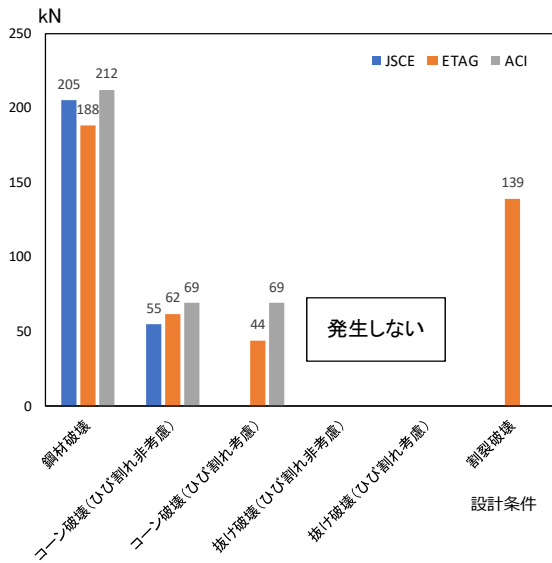


図-2 設計耐力比較一覧表：金属系アンカー

3.2 接着系アンカーの耐力の算定

ここで今回選定した接着系アンカーの共通諸言を表-7 に示す。そして、ETAG と ACI で設計するために用いた製品評価書から必要な特性値一覧を表-8 と表-9 に示す。次に、比較する耐力は、JSCE は供用期間が短期間であることとし、ETAG や ACI では Design Resistance (設計耐力) と比較することとした。そして鋼材破壊耐力、コンクリートコーン状破壊耐力および附着破壊耐力をそれぞれ算出して比較した。

表-7 設計比較に用いた接着系アンカー共通諸元

種類	注入方式カートリッジ型 (主剤：エポキシ樹脂)
アンカー筋サイズ	M24
引張強度	500 N/mm ² / 72,500 lb/in ²
降伏強度	400 N/mm ² / 58,000 lb/in ²
有効断面積	353 N/mm ² / 0.547 in ²
埋込み長さ	300 mm / 11.76 in.

表-8 接着系アンカー特性値：ETA-16/0143 18/04/2016

Steel failure		
Characteristic resistance	$N_{Rk,s}$	176.5 kN
Partial safety factor Grade 5.8	$\gamma_{M,s}$	1.5
Combined pullout and concrete cone failure In hammer drilling and drilled holes with hollow drill bit		
Factor for Cracked		
Temperature range 1 (40°C/24°C)	$\tau_{Rk,cr}$	8 N/mm ²
Temperature range 2 (70°C/43°C)		6 N/mm ²
Factor for Non-cracked		
Temperature range 1 (40°C/24°C)	$\tau_{Rk,ucr}$	15 N/mm ²
Temperature range 2 (70°C/43°C)		11 N/mm ²
Factor acc. to 6.2.2.3 of CEN/TS 1992-4: 2009 part5	k_{cr}^{*1}	7.2
	k_{ucr}	10.1
Partial safety factor of concrete	$\gamma_{M,c}$	1.5
Installation safety factor	γ_2^{*2}	1.0
Increasing factors for τ_{Rk} in concrete C30/37 C40/50 C50/60	ψ_c	1.04
		1.07
		1.09
Edge distance $c_{cr,sp}$ for	$h/h_{ef} \geq 2.0$	$1.0 \cdot h_{ef}$
	$2.0 > h/h_{ef} > 1.3$	$4.6 \cdot h_{ef} - 1.8 \cdot h_{ef}$
	$h/h_{ef} \leq 1.3$	$2.26 \cdot h_{ef}$
Spacing	$s_{cr,sp}$	$2 \cdot c_{cr,sp}$

*1 Parameter for design according to CEN/TS 1992-4:2009

*2 Parameter for design according to EOTA Technical Report TR 029.

表-9 接着系アンカー特性値：ESR-3814 01/2016

Strength reduction factor for tension, steel failure modes	ϕ	0.65	
Strength reduction factor for tension, concrete failure modes (Cond.B)	ϕ	0.65	
Effectiveness factor for uncracked concrete	k_{ucr}	24	
Effectiveness factor for cracked concrete	k_{cr}	17	
Dry and Water Saturated Concrete			
Temperature range A	Cracked concrete	$\tau_{k,cr}$	1240 psi
	Uncracked concrete	$\tau_{k,ucr}$	1960 psi
Temperature range B	Cracked concrete	$\tau_{k,cr}$	850 psi
	Uncracked concrete	$\tau_{k,ucr}$	1350 psi
Strength reduction factor	ϕ_t, ϕ_{vs}	0.65	

(1) 接着系アンカーの鋼材破壊耐力

接着系アンカーの場合の鋼材破壊耐力においては、JSCE は降伏強度 400N/mm² を材料係数の 1.1 で除した値に短期間の使用係数 1.0 を考慮する。ETAG では、引張強度 500N/mm² に材料係数 1.5 で除した値、ACI では、引張強度 500N/mm² に材料係数の 0.75 を乗じた値となる。

(2) 接着系アンカーのコンクリートコーン破壊耐力

コンクリートコーン状破壊耐力の検討において JSCE では接着系アンカーに与えられる低減係数 0.23 を用いて、金属系アンカーと同様に算出する。そして ETAG や ACI も金属系アンカーと同様にひび割れの発生を考慮し、施工安定性評価によって決まる部分安全係数で除して設計耐力とする。ここで、欧米の場合はコンクリートコーン破壊の水平投影面積の考え方が、埋込み先端より 35°

とし、アンカーを中心とした1辺が埋込み長さの3倍とした正方形を基準の水平投影面積としている。設計検討時は、実配置での水平投影面積と基準水平投影面積との比が検討しやすく四角としている点は、JSCEよりも分かりやすい計算が可能となる。

(3) 接着系アンカーの付着破壊耐力

そして付着破壊耐力の検討において、JSCEでは接着系アンカーのアンカー筋と樹脂境界に発生する付着応力度として10N/mm²が一律に与えられ、コンクリート圧縮強度21N/mm²を基準とした強度係数が付着応力度に考慮される。ETAGやACIは製品特性値の付着応力度を用いて検討している。この特性値は、施工条件、環境条件、設計条件によって違う付着応力度を用いなければならない。表-8と表-9には評価書に記載の特性値はすべて転記していないが、様々な特性値が存在する。今回の比較検討には、ETAGではTemperature range 1、ACIではTemperature range Aにおける特性値を用いる。

この3つの耐力照査の検討を表-10～表-12に示し、表-13に結果をまとめた。

表-10 設計鋼材破壊耐力

JSCE	$T_{yd} = K_t \cdot f_{yk} \cdot A_s / \gamma_b / 1000 = 128 \text{ (kN)}$ K_t : 使用期間の長さの影響を表す係数 1.0 f_{yk} : 降伏強度, A_s : 有効断面面積 γ_b : 材料係数 (一般に, 1.1)
ETAG	$N_{Rd,s} = f_{uk} \cdot A_s / \gamma_{M,s} / 1000 = 118 \text{ (kN)}$ f_{uk} : 引張強度, A_s : 有効断面面積 $\gamma_{M,s}$: 部分安全係数 1.5
ACI	$\varphi N_{sa} = \varphi \cdot f_{uk} \cdot A_s / 1000 = 115 \text{ (kN)}$ φ : 引張に対する低減係数 N_{sa} : 引張耐力, f_{uk} : 引張強度, A_s : 有効断面面積

表-11 設計付着破壊耐力

JSCE	$T_{cd} = K_t \cdot \pi \cdot D_a \cdot h_{ef} \cdot \tau_{ad} / \gamma_b / 1000 = 141 \text{ (kN)}$ K_t : 使用期間の長さの影響を表す係数 1.0 D_a : アンカー筋の呼び径 h_{ef} : 有効埋込み長さ, τ_{ad} : 設計付着強度 γ_b : 材料係数 (一般に, 1.6)
ETAG	ひび割れの発生を想定しない場合 $N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{re,Np} \cdot \psi_{ec,Np} / \gamma_{M,p}$ $= 339 \times \frac{765000}{810000} \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 / 1.5 = 213 \text{ (kN)}$ $*N_{Rk,p}^0 = \pi \cdot d \cdot h_{ef} \cdot \tau_{Rk,ucr} = 339 \text{ (kN)}$ ひび割れの発生を想定する場合 $= 181 \times \frac{765000}{810000} \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 / 1.5 = 114 \text{ (kN)}$ $*N_{Rk,p}^0 = \pi \cdot d \cdot h_{ef} \cdot \tau_{Rk,cr} = 181 \text{ (kN)}$ $N_{Rk,p}^0$: 付着破壊基準耐力 $A_{p,N}^0$: 実有効水平投影面積

	$A_{p,N}$: 有効水平投影面積 $\psi_{s,Np}$: へりあきによる低減係数 $\psi_{re,Np}$: 躯体補強筋間隔による低減係数 $\psi_{ec,Np}$: 偏心荷重による低減係数 $\gamma_{M,c}$: 部分安全係数 1.5 d : アンカー筋呼び径 h_{ef} : 有効埋込み長さ
ACI	ひび割れの発生を想定しない場合 $\varphi N_{ag} = \varphi \frac{A_{Na}}{A_{Na0}} \cdot \psi_{ed,Na} \cdot \psi_{cp,Na} \cdot N_{ba}$ $= 0.65 \cdot \frac{1101}{1226} \cdot 1.0 \cdot 0.74 \cdot 72412$ $= 31278 \text{ (lb)} = 139 \text{ (kN)}$ *ここで, 1.0 (lbf) = 4.4482 (N)とする $*N_{ba} = \lambda_a \cdot \tau_{uncr} \cdot \pi \cdot d_a \cdot h_{ef} = 72412 \text{ (lb)}$ ひび割れの発生を想定する場合 $= 0.65 \cdot \frac{1101}{1226} \cdot 1.0 \cdot 1.4 \cdot 0.74 \cdot 37838$ $= 22882 \text{ (lb)} = 102 \text{ (kN)}$ *ここで, 1.0 (lbf) = 4.4482 (N)とする $*N_{ba} = k_c \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f'_c} \cdot h_{ef}^{1.5} = 37838 \text{ (lb)}$ φ : 引張に対する低減係数 0.65 A_{Na0} : 有効水平投影面積 A_{Na} : 実有効水平投影面積 $\psi_{ed,Na}$: へりあきによる低減係数 $\psi_{cp,Na}$: ひ割れ補強筋がない時へりあきの低減係数 λ_a : 軽量コンクリートによる低減係数 d_a : アンカー筋呼び径 h_{ef} : 有効埋込み長さ

表-12 設計コンクリートコーン破壊耐力

JSCE	$T_{cd} = K_t \cdot 0.23 \cdot A_c \sqrt{f'_c} / \gamma_b / 1000 = 201 \text{ (kN)}$ $A_c = \pi \cdot h_{ef} (h_{ef} + D_a) = 305363 \text{ (mm}^2)$ K_t : 使用期間の長さの影響を表す係数 1.0 A_c : 有効水平投影面積 f'_c : 母材コンクリートの設計圧縮強度 γ_b : 材料係数 (一般に, 1.6) h_{ef} : 有効埋込み長さ D_a : アンカー本体の直径
ETAG	ひび割れの発生を想定しない場合 $N_{Rd,c} = N_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} / \gamma_{M,c}$ $= 262 \times \frac{765000}{810000} \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 / 1.5 = 165 \text{ (kN)}$ $N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1.5} = 262 \text{ (kN)}$ $A_{c,N}^0 = 9 \times h_{ef}^2 = 81000 \text{ (mm}^2)$ $A_{c,N} = 3 \cdot 1.5 \cdot h_{ef}^2 + 3 \cdot h_{ef} = 765000 \text{ (mm}^2)$ ひび割れの発生を想定する場合 $N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} / \gamma_{M,c}$ $= 188 \times \frac{765000}{810000} \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 / 1.5 = 118 \text{ (kN)}$ $N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1.5} = 188 \text{ (kN)}$ $N_{Rk,c}^0$: コンクリートコーン状破壊基準耐力 $A_{c,N}^0$: 実有効水平投影面積 $A_{c,N}$: 有効水平投影面積

	$\psi_{s,N}$: へりあきによる低減係数 $\psi_{re,N}$: 躯体補強筋間隔による低減係数 $\psi_{ec,N}$: 偏心荷重による低減係数 $\gamma_{M,c}$: 部分安全係数 1.5 k_1 : コンクリートコーン破壊破壊係数 (ひび割れ考慮 7.2, 非考慮 10.1) $f_{ck,cube}$: コンクリート圧縮強度 *ここでは, $f_{cd}:21 = f_{c,cube}:25$ とするとする h_{ef} : 有効埋込み長さ
ACI	ひび割れの発生を想定しない場合 $\varphi N_{cbg} = \varphi \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \cdot \psi_{ed,N} \cdot \psi_{c,N} \cdot \psi_{cp,N} \cdot N_b$ $= 0.65 \cdot \frac{1101}{1226} \cdot 1.0 \cdot 1.4 \cdot 0.74 \cdot 58282$ $= 35246 \text{ (lb)} = 157 \text{ (kN)}$ *ここで, 1.0 (lbf) = 4.4482 (N)とする * $N_b = k_c \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f'_c} \cdot h_{ef}^{1.5} = 58282 \text{ (lb)}$ ひび割れの発生を想定する場合 $\varphi N_{cbg} = \varphi \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \cdot \psi_{ed,N} \cdot \psi_{c,N} \cdot \psi_{cp,N} \cdot N_b$ $= 0.65 \cdot \frac{1101}{1226} \cdot 1.0 \cdot 1.4 \cdot 0.74 \cdot 41294$ $= 24972 \text{ (lb)} = 111 \text{ (kN)}$ *ここで, 1.0 (lbf) = 4.4482 (N)とする * $N_b = k_c \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f'_c} \cdot h_{ef}^{1.5} = 41283 \text{ (lb)}$ φ : 引張に対する低減係数 0.65 A_{Nco} : 有効水平投影面積 A_{Nc} : 実有効水平投影面積 $\psi_{ed,N}$: へりあきによる低減係数 $\psi_{c,N}$: ひび割れに対する低減係数 $\psi_{cp,N}$: ひび割れ補強筋がない時へりあきの低減係数 N_b : コンクリートコーン状破壊基準耐力 k_c : 評価試験結果に応じて評価される係数(≤10) λ_a : 軽量コンクリートによる低減係数 f'_c : コンクリート圧縮強度 h_{ef} : 有効埋込み長さ

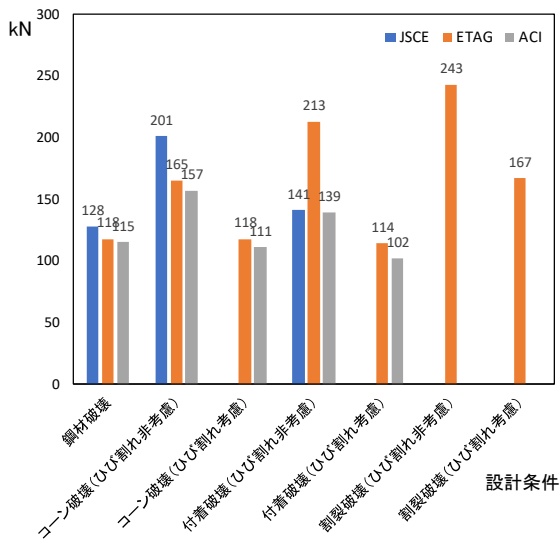


図-3 接着系アンカーの耐力比較一覧

3.3 考察

このように JSCE の短期間相当の設計耐力と, ETAG および ACI のひび割れの発生を想定しない場合の金属系アンカーでは, 大きな耐力差異は見られなかった。しかし, 欧米はひび割れの発生を想定する場合や, 抜け破壊を事前に確かめられる, また割裂破壊も並行して進んでもらえればと思います。接着系アンカーにおいても, コーン破壊において検討する水平投影面積の大きさの違いにて日本と欧米に差異が発生した。また製品や樹脂分類に関係なく, 一律の付着応力度としている日本と, 事前に製品評価制度から得られた付着応力度が与えられる欧米とは付着耐力に差異が発生した。

4. まとめ

このように 3 つの設計手法を同じ作用条件と同じ製品を用いた場合, 設計手法が違えば設計耐力にも差が発生することが比較出来た。しかし, 日本においては様々な種類のアンカーを統一化することが難しい施工方法も様々であるため, したがって, 欧米の手法である製品別の特性値を用いて性能設計することが, 今後の日本には求められるべきと考えます。そのためにも, 以下の点についての検討が必要である。

- (1) 様々な施工条件下における破壊形式の把握
- (2) 特性値を客観的に評価できる仕組み

今後の日本における留付け用のアンカーの設計では, 設計者自身が, 種類の選定, 選定したアンカーの最終的な破壊形式や施工安定性, 長期の信頼性を理解することが重要である。そのため, 外力からの力学と環境作用の区分⁴⁾ごとに分類し, 区分毎に必要な検証試験項目を設定してアンカーの品質や信頼性などを確認すべきである。

参考文献

- 1) あと施工アンカーの耐久性評価と設計方法の高度化に関するシンポジウム 委員会報告書, 公益社団法人日本コンクリート工学会 あと施工アンカーの耐久性の評価方法の確立と高度化研究委員会, 2016年6月27日
- 2) 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
- 3) ETAG001 GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL OF METAL ANCHORS FOR USE IN CONCRETE Annex C: DESIGN METHODS FOR ANCHORAGES, European Organisation for Technical Assessment, August /2010
- 4) ACI Committee 318: ACI318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI, 2014