

論文 接着系あと施工アンカーの引張強度と靱性に関する実験的研究と各種設計式の設計引張耐力比較検討

大和 征良*1・山本 泰稔*2・近藤 龍哉*3

要旨: 本研究は、異形鉄筋 D19 をアンカー筋とするカプセル方式と注入方式の接着系あと施工アンカーの単体引張実験を行い、有効埋込み深さをパラメータとして破壊モードごとに分類し、強度と靱性について言及した。コンクリートコーン状破壊モードは脆性的であり、それと比較し、鋼材破壊と付着破壊の破壊モードは変形性能が大きいことがわかった。また、接着系あと施工アンカーの群アンカーの配置を仮定し、我が国の建築、欧州、米国の設計引張耐力の比較検討を行った。その結果、安全率等の考え方に差異はあるものの、建築設計式の耐力値が最も大きく、欧州・米国設計式はほぼ近似した耐力値となった。

キーワード: 接着系あと施工アンカー、引張耐力、変形性能、設計式

1. はじめに

近年、RC 系建造物の耐震補強等を中心に、接着系あと施工アンカーが構造体の重要な接合部分に使用されてきている。また、1981 年以前の耐震基準で建築された RC 造の集合住宅等における耐震補強の需要も増えており、そで壁増設補強で住まいながら補強設計を行う事例も徐々に増加している。既存躯体と構造要素とをあと施工アンカーで繋いで建物の耐震補強を行う事例が多いが、ここで、既往の耐震改修設計指針¹⁾では、既存躯体と補強要素との繋ぎ目が先行して破壊する場合、変形性能が劣る補強方法だと見なされ、 F (靱性指標値) $=1.0$ と評価することになっている。そで壁端部や柱脚接合部分のあと施工アンカーは、主として引張力の作用が重要になると考えられるが、あと施工アンカー単体の引張力に対する耐力と変形性能の関係について言及された報告は数少ない²⁾。そこで、本論文では、単体の接着系あと施工アンカーのうち、従来耐震補強の接合部分に用いられているカプセル方式と、住みながら耐震補強を行うために必要な低振動・低騒音・無粉塵工法で必須となる注入方式の引張実験の結果を用いて、変形性能について考察する。

さらに、接着系あと施工アンカーの群アンカーにおける配置条件を仮定して、我が国の建築系で一般的に用いられている各種合成構造設計指針³⁾、欧米における建築系と土木構造物と共通の設計式となっている欧州の EOTA⁴⁾の設計式、米国の ACI⁵⁾の設計式での各種設計式の設計引張耐力を算出し、その算出値の比較検討を行う。これは、今後のグローバル化の流れの中で国際統一規格をつくる動きも予想されることを念頭においたもので

あり、これまで、せん断耐力について、欧米の設計式を用いて検討を行った事例³⁾⁶⁾⁷⁾¹⁶⁾¹⁷⁾はあるが、引張強度の欧米の設計式を用いた検討はほぼ皆無に近い実状であるため、本報で検討を試みるものである。

2. 既往の耐震改修設計指針¹⁾の引張耐力設計式

既往の耐震改修設計指針の引張耐力設計式は、単体の接着系アンカーの場合、接合面におけるアンカー1 本あたりの負担できる引張力は、以下のように定められている。

$$T_a = \min [T_{a1}, T_{a2}, T_{a3}] \quad (1)$$

$$T_{a1} = \sigma_y \cdot a_0 \quad (2)$$

$$T_{a2} = 0.23 \cdot \sqrt{\sigma_B} \cdot A_c \quad (A_c = \pi \cdot l_e(l_e + d_a)) \quad (3)$$

$$T_{a3} = \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_e \quad (\tau_a = 10 \cdot \sqrt{\sigma_B / 21}) \quad (4)$$

(T_{a1} : アンカー筋の鋼材で決まる耐力, T_{a2} : コンクリートのコーン状破壊で決まる耐力, T_{a3} : 付着力で決まる耐力, σ_y : 鉄筋の規格降伏点強度(N/mm²), a_0 : アンカー筋の公称断面積(mm²), σ_B : コンクリート圧縮強度(N/mm²), A_c : コンクリートコーン状破壊面のアンカー1本あたりの有効水平投影面積(mm²), l_e : アンカー筋の有効埋込み深さ(mm), d_a : アンカー筋の呼び径(mm), τ_a : 付着強度(N/mm²), σ_B 適用範囲: 15~36(N/mm²))

以上の算定式より、例えば、D19の異形鉄筋(SD345)の単体のアンカー筋における引張耐力は、コンクリート圧縮強度15(N/mm²)と仮定した場合、アンカー筋の有効埋込深さ(l_e)をパラメータとして、図-1のように、3領域のアンカー破壊モード、すなわち、(a)コンクリートのコーン状破壊が支配的となる領域、(b)付着力による破壊が支配的となる領域、(c)アンカー筋の鋼材耐力が支配的となる領域に、概ね分類することができる。以下では、3

*1 日本ヒルティ マーケティング本部 テクニカルエンジニア 修士(工学) (正会員)

*2 芝浦工業大学 名誉教授 工学博士 (正会員)

*3 工学院大学 建築学部 准教授 博士(工学) (正会員)

領域の破壊モードごとの実験データを用いて、あと施工アンカー単体の引張耐力の変形性能について言及するものとする。

3. 実験概要とその結果及び考察

3.1 実験概要⁸⁾⁹⁾

実験は、単体の接着系あと施工アンカーの引張実験であり、(社)日本建築あと施工アンカー協会のあと施工アンカー標準試験方法(案)・同解説に準拠して公的試験機関で行った。実験に用いたコンクリートブロック供試体の形状は、縦 2000mm×横 3000mm×厚さ 400mm の形状の無筋コンクリートであり、あと施工アンカーの打設においては、へりあき寸法やアンカーピッチが強度や変形性能に影響しないように配慮し、打設位置を決定した。下穴の穿孔においては、住まいながら補強を行うことを想定して低振動・低騒音・無粉塵の手持ち式ダイヤモンドコアドリル¹⁰⁾¹¹⁾を用いた。使用した接着系あと施工アンカーは、図-2 に示すビニルウレタン樹脂系のプラスチックフィルムカプセル方式と、図-3 に示す高性能エポキシ樹脂系の注入方式の2種類である。アンカー筋は径が一種類降伏点で2種類の D19 (SD295A と SD345) の異形鉄筋を用いて、カプセル方式は先端を 45°に斜めカットしたもの、注入方式は斜めカットせず、先端をす切りにしたものとした。表-1 に異形鉄筋の材料試験結果を示す。図-4 に引張実験加力装置を示す。加力はいずれも単調载荷とし、変位はアンカー筋のコンクリート表面からの抜け出し量を測定した。ただし、抜け出し量には、埋込み以外にアンカー筋の露出部分の伸び量も含まれている。

表-1 アンカー筋材料試験結果

	降伏強度 (N/mm ²)	破断強度 (N/mm ²)	伸び率 (%)
D19 (SD295A)	366	534	26
D19 (SD345)	406	603	22

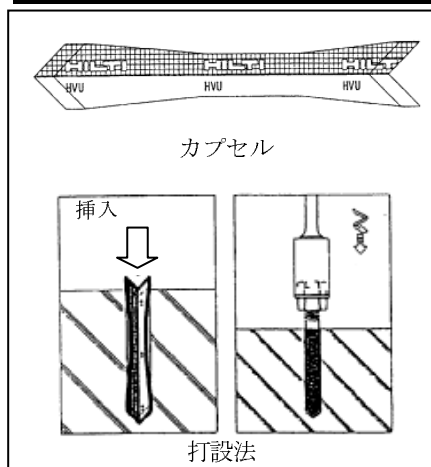


図-2 ビニルウレタン樹脂系プラスチックフィルムカプセル方式

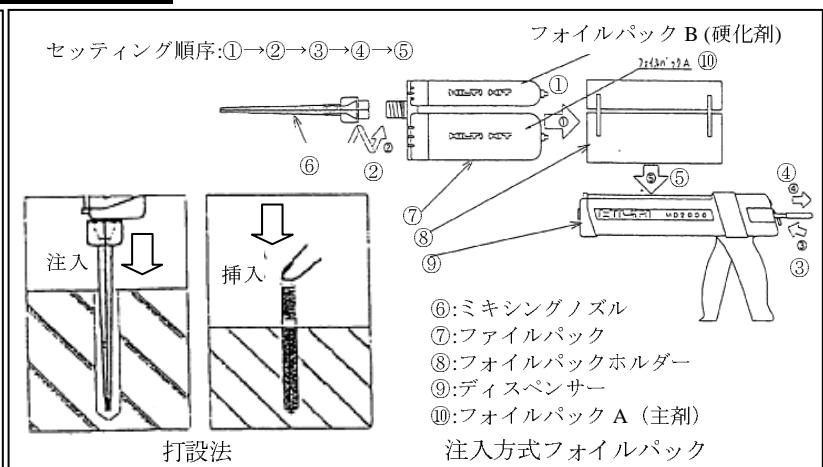


図-3 高性能エポキシ樹脂系注入方式

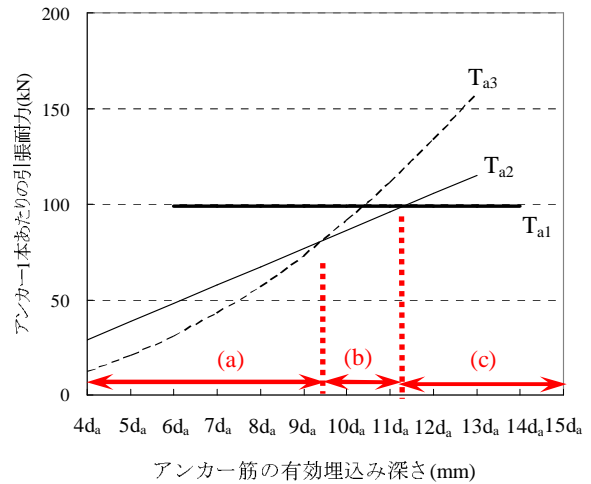


図-1 引張耐力設計式と破壊モード領域

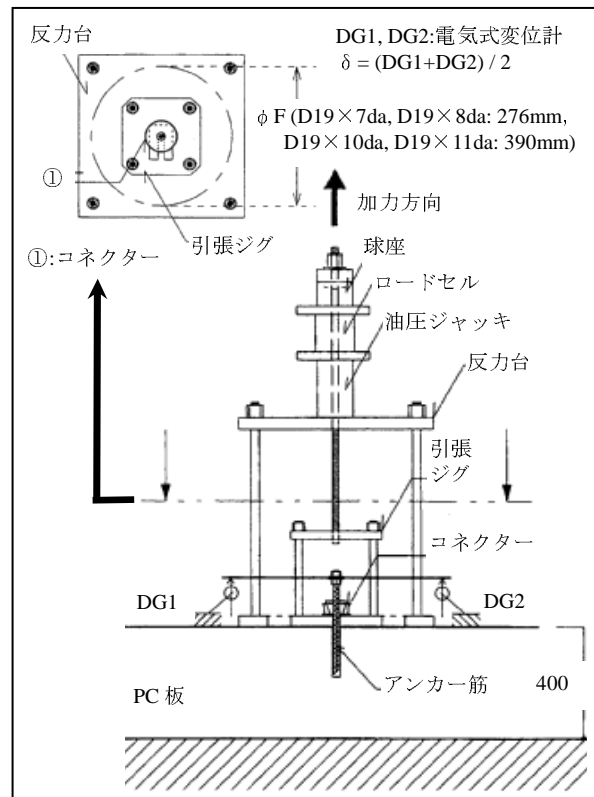


図-4 引張実験加力装置図

表-2. 実験結果一覧

試験体番号	破壊モード	母材コンクリート圧縮強度	アンカー筋規格	アンカー筋先端形状	埋込み深さ	最大引張荷重 (P_{max})	変位 (終局(アンカー筋破断時) ($P_{max} \times 0.8$))	破壊モードごとの変位平均値 (mm)	アンカー種類
		(N/mm^2)			(mm)	(kN)	(mm)		
(1)	(c)	16.5	SD295A	寸	190(10 d_a)	150.5	22.4	21.6	I
(2)		16.5	SD295A	寸	190(10 d_a)	152.9	21.4		I
(3)		16.5	SD295A	寸	190(10 d_a)	153.1	21.5		I
(4)		16.5	SD295A	斜	209(11 d_a)	149.5	22.6		C
(5)		31.2	SD345	斜	209(11 d_a)	171.6	20.1		C
(6)	(a)	16.5	SD345	寸	133(7 d_a)	128.7	6.1	5.8	I
(7)		16.5	SD345	寸	133(7 d_a)	117.5	4.3		I
(8)		16.5	SD345	寸	133(7 d_a)	123.2	5.0		I
(9)		16.5	SD345	斜	152(8 d_a)	127.9	6.7		C
(10)		35.5	SD345	斜	152(8 d_a)	141.3	6.8		C
(11)	(b)	35.5	SD295A	寸	133(7 d_a)	152.4	19.0	15.4	I
(12)		35.5	SD295A	寸	133(7 d_a)	144.3	15.0		I
(13)		35.5	SD295A	寸	190(10 d_a)	138.4	16.3		I
(14)		16.5	SD345	斜	152(8 d_a)	152.8	13.2		C
(15)		31.2	SD345	斜	152(8 d_a)	162.3	13.5		C

(注:破壊モード…(c)鋼材破壊,(a)コンクリート破壊,(c)付着破壊。アンカー筋先端形状…寸:寸切り,斜:斜めカット。アンカー種類…I:エポキシ樹脂注入方式,C:ビニルウレタン樹脂カプセル方式。試験体番号(1)~(15)のアンカー下穴の穿孔は全て低振動・低騒音・無粉塵手持ちダイヤモンドコアドリル¹⁰⁾¹¹⁾を使用している。)

3.2 実験結果

表-2に引張実験に使用したアンカーの概要と最大荷重時の強度、平均変位量及び破壊モードを示す。図-5に各アンカー筋の試験体番号ごとの荷重変形関係を示す。図-1で言及したアンカーの破壊モード領域に従って分類した結果を示した。アンカー筋は全ての試験体でD19を使用し、母材コンクリート強度は、実験時に行ったコンクリートの圧縮試験の実強度を記載している(コンクリートの圧縮試験を行った際の材令は約2週間であった)。母材コンクリート圧縮強度は16.5(MPa)、31.2(MPa)、35.5(MPa)の3とおり、アンカー筋規格はSD295AとSD345の2とおり、アンカーの種類は、高性能エポキシ樹脂注入方式とビニルウレタン樹脂カプセル方式の2種類である。アンカー筋埋め込み深さは、エポキシ樹脂注入方式の場合は、図-3に示したようにアンカー筋施工時、樹脂を専用のディスペンサーで注入した後アンカー筋を手でそのまま挿入するため、アンカー筋先端を寸切りで施工することができることから、190mm(10 d_a)、133mm(7 d_a)の2とおり(有効埋込み深さも190mm(10 d_a)、133mm(7 d_a)であるが、もう一方のビニルウレタン樹脂カプセル方式の場合は、図-3のようにアンカー筋施工時、カプセルを穿孔穴に挿入した後、アンカー筋をダブルナット+ソケットでセッティングし、ハンマードリルを用いてアンカー筋先端を斜めカットで施工することから、209mm(11 d_a)、152mm(8 d_a)の2とおりである(有効埋込み深さは190mm(10 d_a)、133mm(7 d_a)。試験体番号各々において、表-2に最大引張荷重(P_{max})(kN)

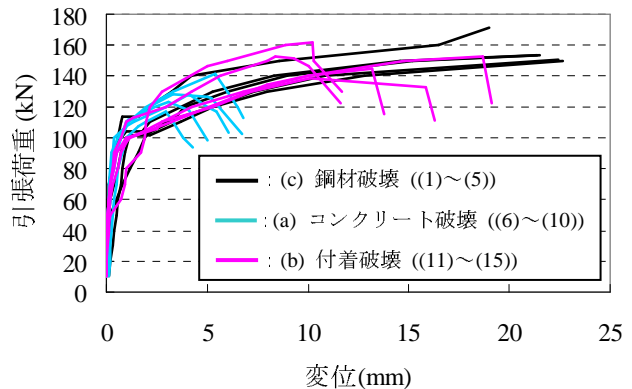


図-5 荷重変形関係

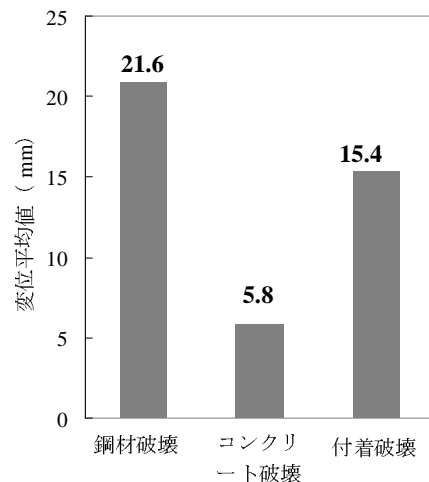


図-6 破壊モードごとの平均変位

と変位量を示し、破壊モードごとの5試験体の平均変位も記載した。また、変位については、最大引張荷重(P_{max})

の20%耐力低下時の変位までは有効であるとする慣用の方法¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾を採用したが、アンカー筋破断モードの試験体は、全て最大引張荷重に達した直後にアンカー筋が破断したため、最大引張荷重時の変位をそのまま記載することにした。

3.3 検討の結果

図-5の破壊モードごとの荷重変形関係より、多少の試験体のばらつきがあるものの、引張荷重100kN程度までは、アンカー筋の鋼材の種類、コンクリート圧縮強度、エポキシ樹脂注入方式とビニルウレタン樹脂カプセル方式のあと施工アンカーの方式の違いや破壊モードの違いによる顕著な差異はみられなかった。その後、最大荷重に達した後耐力低下に至るまでの過程においては、荷重変形関係に顕著な差異が認められる。特に表-2や図-6のように破壊モードごとに変位の平均値を示したところ、変形性能に大きな差が見られる。アンカー筋D19のみのコンクリート強度とアンカー筋強度、埋込み深さの限られた条件内ではあるが、図-5、図-6よりコンクリートコーン状破壊モードは最も脆性的であるという結果となった。一方で、コンクリートコーン状破壊モードと比較して、アンカー筋破壊モードは約3.7倍、付着破壊モードは約2.7倍、変形性能が大きいことがわかった。

4. 各種設計式による引張耐力の比較検討

あと施工アンカーの引張耐力の設計式として種々のものが提案されている。ここでは、RC系建築物の耐震補強等で用いられる各種合成構造設計指針・同解説³⁾(社)日本建築学会)の設計式、欧州の建築・土木構造物で用いられるETAG⁴⁾¹²⁾(Guideline for European Technical Approval)の式、米国の建築・土木構造物で用いられるACI CODE⁵⁾¹³⁾(American Concrete Institute Building Code)の式を用いて設計引張耐力の算出を行う。算出を行うアンカー条件は、D19(SD345)(穿孔径 25mm)の異形鉄筋を図-7のようなコンクリート母材(母材厚 550mm,母材コンクリート温度-5℃~40℃)に4本の群アンカーを打設したと仮定し、アンカーピッチとへりあき寸法は図-7のように設定した。コンクリート設計基準強度 15.0(N/mm²)(ひび割れのないコンクリート)、アンカー筋先端形状寸切り、埋込み深さ 228mm(12d_a)、ハンマードリルを用いてアンカーの下穴の穿孔を行い、高性能エポキシ樹脂系注入方式接着系アンカーを用いる場合の設計引張耐力を算出した。

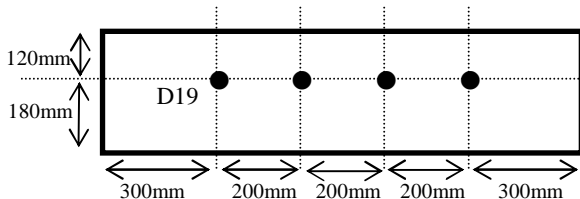


図-7 群アンカー配置平面図

4.1 各種合成構造設計指針設計引張耐力³⁾(短期許容引張力)

$$p_a = \min [p_{a1}, p_{a3}] = p_{a3} = 84.3(\text{kN}) \quad (5)$$

$$p_{a1} = n \cdot \phi_1 \cdot s_{\sigma pa} \cdot s_{ca} = 395.2(\text{kN}) \quad (6)$$

$$p_{a3} = n \cdot \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_{ce} = 84.3(\text{kN}) \quad (7)$$

$$\tau_a = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg} \quad (8)$$

$$\alpha_n = 0.5(c_n/l_e) + 0.5 \quad (9)$$

$$((c_n/l_e) \geq 1.0 \text{ の場合, } (c_n/l_e) = 1.0)$$

$$(l_e \geq 10 d_a \text{ の場合, } l_e = 10 d_a)$$

$$\tau_{bavg} = 7\sqrt{F_c/21} \quad (10)$$

$$l_{ce} = l_e - 2d_a \quad (11)$$

(p_{a1}:アンカー筋の降伏により決まる場合のアンカー1本あたりの短期許容引張力(kN), p_{a3}:アンカー筋の付着力により決まる場合のアンカー1本あたりの短期許容引張力(kN))

4.2 ETAG/EOTA接着系アンカー設計法(TR029)⁴⁾¹²⁾

$$N_{Rk} = \min [N_{Rk,s}, N_{Rk,p}, N_{Rk,c}, N_{Rk,sp}] = N_{Rk,c} = 98.2(\text{kN}) \quad (12)$$

$$N_{Rk,s} = n \cdot A_s \cdot f_{uk} = 561.5(\text{kN}) \quad (13)$$

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot (A_{p,N}/A_{p,N}^0) \cdot \Psi_{s,Np} \cdot \Psi_{g,Np} \cdot \Psi_{ec,Np} \cdot \Psi_{re,Np} = 232.4(\text{kN}) \quad (14)$$

$$N_{Rk,p}^0 = \pi \cdot d \cdot h_{ef} \cdot \tau_{Rk} \quad (15)$$

$$A_{p,N}^0 = (s_{cr,Np})^2 \quad (16)$$

$$s_{cr,Np} = s_{cr,Np}/2 \quad (17)$$

$$A_{p,N} = (s_{cr,Np} + s_1 + s_2 + s_3 + c_{cr,Np}) \cdot (c_1 + c_2) \quad (18)$$

$$s_{cr,Np} = 20 \cdot d \cdot (\tau_{Rk,uncr}/7.5)^{0.5} \leq 3 \cdot h_{ef} \quad (19)$$

$$\Psi_{s,Np} = 0.7 + 0.3 \cdot (c/c_{cr,Np}) \leq 1.0 \quad (20)$$

$$\Psi_{g,Np} = \Psi_{g,Np}^0 - (s/s_{cr,Np})^{0.5} \cdot (\Psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1.0 \quad (21)$$

$$\Psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} \cdot (\sqrt{n} - 1) \cdot (d \cdot \tau_{Rk}/k \cdot \sqrt{(h_{ef} \cdot f_{ck,cube})})^{1.5} \quad (22)$$

$$\Psi_{re,Np} = 0.5 + h_{ef}/200 \leq 1.0 \quad (23)$$

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,N}/A_{c,N}^0) \cdot \Psi_{s,N} \cdot \Psi_{re,N} \cdot \Psi_{ec,N} = 98.2(\text{kN}) \quad (24)$$

$$h_{ef} = (c_{max}/c_{cr,N}) \cdot h_{ef} \quad (25)$$

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{(f_{ck,cube})} \cdot h_{ef}^{1.5} \quad (26)$$

$$A_{c,N}^0 = (s_{cr,N})^2 \quad (27)$$

$$s_{cr,N} = 3 \cdot h_{ef}^{1.5} \quad (28)$$

$$c_{cr,N} = s_{cr,N}/2 \quad (29)$$

$$A_{c,N} = (c_1 + s_1 + s_2 + s_3 + c_2) \cdot (c_3 + c_4) \quad (30)$$

$$\Psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot (c/c_{cr,N}) \leq 1.0 \quad (31)$$

$$\Psi_{re,N} = 0.5 + h_{ef}/200 \leq 1.0 \quad (32)$$

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,c}^0 \cdot (A_{c,N}/A_{c,N}^0) \cdot \Psi_{s,N} \cdot \Psi_{re,N} \cdot \Psi_{ec,N} \cdot \Psi_{h,sp} = 166.5(\text{kN}) \quad (33)$$

$$\Psi_{h,sp} = (h/h_{min})^{2/3} \quad (34)$$

$$1 \leq \Psi_{h,sp} \leq (2 \cdot h_{ef}/h_{min})^{2/3} \quad (35)$$

$$N_{Rd} = N_{Rk,c}/1.5 = 65.4(\text{kN}) \quad (36)$$

(N_{Rk,s}:鋼材破壊の場合のアンカーの引張基準耐力, N_{Rk,p}:引抜破壊(付着破壊)とコンクリートコーン状破壊の複合破壊の場合のアンカーの引張基準耐力, N_{Rk,c}:コンクリートコーン状破壊の場合のアンカーの引張基準耐力, N_{Rk,sp}:コンクリート引き剥がし破壊の場合のアンカーの引張基準耐力)

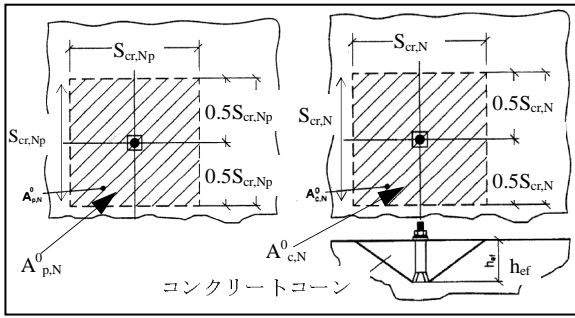


図-8 コンクリート有効水平投影面積の考え方(欧州式)

4.3 ACI318接着系アンカー設計法(ICC-ES)⁵⁾¹³⁾

$$N_{Rk} = \min[N_{sa}, N_{cbg}, N_{ag}] = N_{cbg} = 96.7 \text{ (kN)} \quad (37)$$

$$N_{sa} = n \cdot A_{se,N} \cdot f_{uta} = 561.5 \text{ (kN)} \quad (38)$$

$$N_{cbg} = (A_{Nc} / A_{Nc0}) \cdot \Psi_{ec,N} \cdot \Psi_{ed,N} \cdot \Psi_{c,N} \cdot \Psi_{cp,N} \cdot N_b = 96.7 \text{ (kN)} \quad (39)$$

$$h_{ef} = (c_{max} / 1.5) \cdot h_{ef} \quad (40)$$

$$A_{Nc0} = 9 (h_{ef}')^2 \quad (41)$$

$$A_{Nc} = (c_1 + S_1 + S_2 + S_3 + c_2) \cdot (c_3 + c_4) \quad (42)$$

$$c_{min} \leq c_n \leq 1.5 \cdot h_{ef} \quad (43)$$

$$S_{min} \leq S_n \leq 3.0 \cdot h_{ef} \quad (44)$$

$$\Psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3(c_{a,min} / 1.5 \cdot h_{ef}') (c_{a,min} < 1.5 h_{ef}') \quad (45)$$

$$\Psi_{cp,N} = \max | (c_{a,min} / c_{ac}), (1.5 h_{ef}' / c_{ac}) | \quad (46)$$

$$c_{ac} = (h_{ef}')^2 / 48d + 1.33 h_{ef}' (h_{ef}' > 8d) \quad (47)$$

$$N_b = k_{c,uncr} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot h_{ef}'^{1.5} \quad (48)$$

$$N_{ag} = (A_{Na} / A_{Na0}) \cdot \Psi_{ed,Na} \cdot \Psi_{g,Na} \cdot \Psi_{ec,Na} \cdot \Psi_{p,Na} \cdot N_{a0} = 204.6 \text{ (kN)} \quad (49)$$

$$A_{Na} = (c_{cr,Na} + S_1 + S_2 + S_3 + c_{cr,Na}) \cdot (c_1 + c_2) \quad (50)$$

$$S_{cr,Na} = 20 \cdot d \cdot \sqrt{(\tau_{k,uncr} / 1450)} \leq 3 \cdot h_{ef} \quad (51)$$

$$c_{cr,Na} = S_{cr,Na} / 2 \quad (52)$$

$$A_{Na,0}^0 = (S_{cr,Na})^2 \quad (53)$$

$$\Psi_{ed,Na} = (0.7 + 0.3 \cdot (c_{a,min} / c_{cr,Na})) \leq 1.0 (c_{a,min} < c_{cr,Na}) \quad (54)$$

$$\Psi_{g,Na} = \Psi_{g,Na0} + (S / S_{cr,Na})^{0.5} \cdot (1 - \Psi_{g,Na0}) \geq 1.0 \quad (55)$$

$$\Psi_{g,Na0} = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \cdot (\tau_{k,uncr} / \tau_{k,max,uncr})^{1.5} \geq 1.0 \quad (56)$$

$$\tau_{k,max,uncr} = k_{c,uncr} / (\pi \cdot d) \cdot \sqrt{(h_{ef}')^{1.5} \cdot f'_c} \quad (57)$$

$$\Psi_{p,Na} = \max | c_{a,min}; c_{cr,Na} | / c_{ac} (c_{a,min} < c_{ac}) \quad (58)$$

$$N_{a0} = \tau_{k,uncr} \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef} \quad (59)$$

$$R_d = \phi \cdot N_{cbg} = 62.8 \text{ (kN)} \quad (60)$$

(N_{sa} : 鋼材破壊の場合のアンカーの引張耐力, N_{cbg} : コンクリート破壊の場合のアンカーの引張耐力, N_{ag} : 引き抜け破壊(付着破壊)の場合のアンカーの引張耐力)

4.4 結果の検討

各種算定式における設計引張耐力値を表-3、図-10に示す。我が国の建築設計式と欧州・米国の設計式は、設計・安全率等の考え方が異なっているため、等価な比較は困難ではあるが、図-7の群アンカーのアンカーピッチとヘリあき寸法等の同配置条件下において、我が国

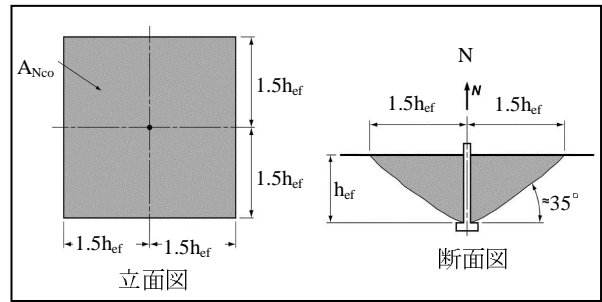


図-9 コンクリート有効水平投影面積の考え方(米国式)

の建築設計式による設計引張耐力が最も高い耐力値を示し、欧州式と米国式による設計引張耐力は両者非常に近似した耐力値を示した。これは、図-11に示したように、我が国の設計式は、各種破壊モードごとの終局強度を定式化し最も低い破壊モード耐力値に短期荷重用低減係数(付着破壊の場合は2/3)を乗じて設計引張耐力(短期許容引張力)として算出される³⁾のに対し、欧州・米国の設計式は、終局強度から実験値のばらつきを考慮して標準偏差の係数倍を減じて安全側に定めた基準強度を破壊モードごとに定式化し、その基準強度の最も低い破壊モード耐力値から安全率として1.5で除した値(米国式の場合は0.65を乗じた値)を設計引張耐力として算出される¹⁵⁾ことに起因しているものと考えられる。

表-3 各種設計式設計引張耐力値

設計式	設計引張耐力	破壊モード
	(kN)	
建築	84.3	付着破壊
欧州	65.4	コンクリートコーン状破壊
米国	62.8	コンクリート破壊

(注: 以下算出で用いたコンクリート設計基準(圧縮)強度の換算。
 $f_{ck,cube}$: 欧州コンクリート圧縮強度:
 (日本のコンクリート圧縮強度)/0.85¹⁴⁾ (N/mm²)
 f'_c : 米国コンクリート圧縮強度:
 (日本のコンクリート圧縮強度)/0.81¹⁴⁾ (N/mm²))

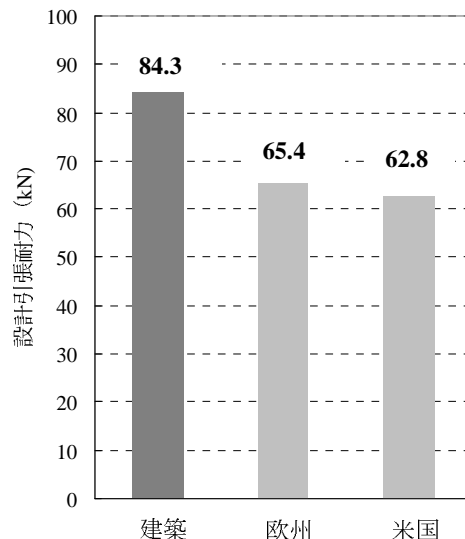


図-10 各種設計式設計引張耐力値

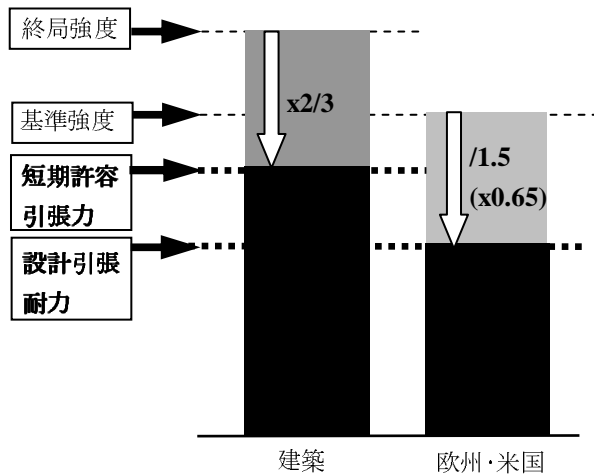


図-11 各種設計式の安全係数概念図

5. まとめ

本報では、単体の接着系あと施工アンカーのカプセル方式と注入方式の引張実験の結果を用いて、破壊モードごとの変形性能について言及した。耐震補強の接合等で一般によく用いられるD19の異形鉄筋のみの限られた実験値ではあったが、コンクリートコーン状破壊モードは脆性的であること、鋼材破壊モードはコンクリートコーン状破壊と比較して約4倍、付着破壊モードは約3倍、変形性能が大きいことがわかった。また、D19(SD345)の異形鉄筋4本の群アンカーの配置によるアンカーピッチとへりあき寸法の影響を考慮し、各種合成構造指針による建築設計式、欧米の建築・土木構造物で用いられる欧州設計式、米国設計式を用いて引張耐力の算出を行った。我が国の建築設計式と欧州・米国設計式は安全率と設計耐力等の考え方が異なるため、同じ条件での比較とはならないが、我が国の設計式が最も大きな耐力値を示す結果となり、欧州設計式と米国設計式の算出値は非常に近似した耐力値を示す結果となった。今後、さらなる実験データの蓄積を行い、あと施工アンカーの変形性能について検討を継続する所存である。また、各種設計式との比較においても、様々な条件による設計式の算出を試みると共に、設計式の中に含まれたパラメータ、安全率等の考え方の詳細をさらに追究し、変形性能も含め、より具体的な数値提案を行っていきたいと考えている。

6. 参考文献

- 1) 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, (財)日本建築防災協会, pp.117-138, pp.266-290, 2001年改定版
- 2) 清原俊彦, 松崎育弘, 中野克彦, 福本晃治: 接着系あと施工アンカーの構造特性に関する実験研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vo.20, No.3, pp.199-204, 1998.6

- 3) 各種合成構造設計指針・同解説, (社)日本建築学会, pp.252-269, pp.274-308, 2010.11.
- 4) Design of Bonded Anchors, Technical Report 029, European Organisation for Technical Approvals, pp.1-36, June. 2007
- 5) Appendix D - Anchoring To Concrete, ACI 318-08: Building Code and Commentary, pp.409-438, 2008
- 6) 服部由里子, 山本泰稔: 中低層RC造集合住宅の片袖壁付き柱耐震補強法に用いる浅打ちアンカー筋に関する実験的研究—設計式との検討—, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp.663-664, 2004.8
- 7) 清水泰, 遠藤利根穂: あと施工アンカーの引抜き耐力に関する検討, コンクリート工学年次論文報告集, 9-2, pp.579-584, 1987.6
- 8) あと施工アンカー(ヒルティHVU)の性能試験, 試験報告書, (財)建材試験センター, pp.1-51, 1998.8
- 9) あと施工アンカー(ヒルティHIT-RE500)の性能試験, 試験報告書, (財)建材試験センター, pp.1-74, 2000.8
- 10) 辻和幸, 小隈幸一: あと施工アンカー工事, 特集 RC造の耐震診断・耐震補強の基本知識(監修:広沢雅也), 建築技術, pp.158, 2009.3
- 11) 高橋宗臣: あと施工アンカー工事, 特集 知っておきたい耐震補強実務のポイント(監修 広沢雅也+秋山友昭), 建築技術, pp.162-163, 2010.8
- 12) Injection System Hilti HIT-RE500, European Technical Approval ETA-04/0027, DIBt, pp.1-30, May. 2009
- 13) Hilti HIT-RE 500-SD Adhesive Anchors in Concrete, ICC-ES Technical Report, ESR-2322, pp.1-52, Nov. 2007
- 14) Base Materials for Fastenings, Hilti Anchor Fastening Technology Manual, Hilti Corporation, A1, pp.12, July. 1993
- 15) Anchor design, Safety concept, Hilti Anchor Fastening Technology Manual, Hilti Corporation, pp.32, June. 2010
- 16) 広沢雅也, 松崎育弘: あと施工アンカー設計・施工読本—初歩から応用まで—, 建築技術, pp.82-83, pp.208-212, 2001.7
- 17) 田中礼治ほか: コンクリート用ファスニング技術研究委員会報告書 あと施工アンカー技術の現状, (社)日本コンクリート工学協会, pp.71-76, 1994.4
- 18) 鉄筋コンクリート造建築物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, (社)日本建築学会, pp.119-120, 2008.6
- 19) 余湖兼右, 城攻ほか: セン断破壊型炭素繊維シート補強 RC柱の靱性性能評価に関する解析的検討, 日本建築学会技術報告集 Vol.14, No.27, pp.109-114, 2008.6
- 20) 土井希祐: 変動軸力を受ける SRC 部材の変形性能とエネルギー吸収性能の評価法, 日本建築学会学術講演梗概集(東海), pp.1149-1150, 2003.9