

第2章

接着系あと施工アンカー単体の性能および品質確認試験

2-1 検討概要

あと施工アンカーは国内外の多くのメーカーで製造され使用されている。あと施工アンカー単体の性能の確認試験としては、(一社)日本建築あと施工アンカー協会(Japan Construction Anchor Association, 以下JCAAと記す)による製品認証における評価試験が実施されており、市販のあと施工アンカーについて一定の性能を有していることを確認している。しかしながら、本課題において適用を検討している注入方式の接着系あと施工アンカーについては、認証製品も少なく、認証のための評価項目および評価基準も必ずしも注入方式のあと施工アンカーに適応したものではない場合もある。また、あと施工アンカーの性能は、引張力に対する付着強度、せん断力に対するせん断強度などの力学的特性のほか、長期的な使用を考えた場合には、持続的に作用する荷重に対する変形抵抗性(クリープ特性)、耐アルカリ性や耐凍結融解抵抗性などの耐久性も重要となるが、これらに対する確認方法も十分に整備されているとは言えない状況にある。

建築基準整備促進事業では、平成20年度～平成22年度の検討において、持続的荷重に対する試験(クリープ試験)の方法が検討され、鉄筋径および母材コンクリート強度を変えたいくつかの試験データが得られ、当該試験方法の有用性について確認がなされているものの、試験方法の標準化や性能評価方法として運用するためにはいくつかの技術的課題を残している。そのため、本課題においては、接着系あと施工アンカーが長期荷重を負担する部材への適用を想定した性能評価試験に必要となる一連の試験方法の標準化のための検討を平成27年度から平成29年度に亘って行った。

平成27年度の検討においては、接着系あと施工アンカー単体の性能および品質の確認方法の標準化のために、付着強度試験の標準化のための検討として、コンクリート母材強度、アンカー筋の径・種類、試験時の拘束条件、温度条件などを水準とした実験を実施し、試験方法標準化のための基礎的資料を整備した。また、クリープ特性に対する環境温度の影響を評価するため、温度条件の異なる長期引張試験(クリープ試験)の荷重を開始した。環境温度の影響は通常の付着強度試験(短期荷重試験)では、大きい影響を及ぼさないものの、クリープ試験においては特に樹脂系の接着剤(エポキシ樹脂)において40℃の条件で大きい変形を示した^{2.1)}。別途実施した、接着系あと施工アンカーに作用する環境温度に関する実測データ^{2.2)}からは、夏季においては40℃程度の温度が継続すること、コンクリート表面付近では最高で60℃程度まで温度が上昇することが確認されている。2.2節にて、その内容を報告する。

平成28年度の検討においては、長期引張試験として、クリープによる破壊限度を得るための短期クリープ試験、および温度条件、応力条件の異なるクリープ試験を実施した。また、平成27年度に荷重開始した長期引張試験(350日間のクリープ試験)の試験結果およびその評価について検討した。



2.3節にて、その内容を報告する。

平成29年度においては、2.5節で提案されているクリープ試験方法の原案に応じたクリープ試験の実施、ばらつき等に関する検討を行った。2.4節にて、その内容を報告する。また、2.5節では、これまでの検討結果を踏まえ、アンカー単体の性能評価試験に必要な評価試験方法(付着強度、持続的荷重、引張強度、せん断強度)の提案を行った。

2-2 長期および短期引張試験・短期せん断試験（平成27年度実施）

2-2-1 実験概要

2-2節では、平成27年に実施した、接着系あと施工アンカー単体の性能確認試験の標準化のための検討として、試験項目の設定、試験体製作方法の検討、試験体の形状・寸法、載荷、計測などの標準化のための影響要因に関する検討を報告する。

引張応力に対する性能評価試験（付着強度試験）とせん断応力に対する性能評価試験に区分してとりまとめた。また、引張応力については、短期載荷試験と長期載荷試験（クリープ試験）のそれぞれについてとりまとめた。長期載荷試験については、本項では、載荷の状況および載荷直後の試験結果までをとりまとめた。350日後の実験結果については、 2.3.3.18 および  2.3.3.19 にて示されている。せん断応力に対するクリープ試験については、既往の検討^{2,3)}においてクリープ変形が問題にならないことが確認されていることから、本検討課題での検討対象としていない。

2-2-2 引張応力に対する性能評価試験

2-2-2-1 実験計画

2-2-2-1-1 実験の要因と水準

引張応力に対する性能評価試験は、母材となるコンクリートのアンカー筋を固着した試験体に対してアンカー筋に引張力を載荷し、アンカー筋と母材コンクリート間の付着強度を評価する。実験では、付着試験結果に影響を及ぼすと思われる要因について検討し、標準的な方法を定めるための実験要因および水準を設定した。

表 2.2.2.1-1 に実験の要因と水準を示す。ここで、これらの要因と水準を設定した理由は以下に示す。

(1) 試験体の条件

あと施工アンカーの付着強度は母材コンクリート強度の影響を受け、国土交通省「あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針」^{2.4)}においては、引張耐力の算定式として(2.2.2.1-1)式のような設計式が提案されている。また、日本建築学会「各種合成構造設計指針」^{2.5)}においても同様の算定式が示されている。一方、既往の実験データの分析結果^{2.6)}からは、必ずしもこの式に従わないという報告もあるが、これらの関係がアンカー筋の種類や径の影響を含めて整理された例はない。

$$T_{a3} = 10 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_B}{21}} \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_e \tag{2.2.2.1-1}式$$

ここに、

T_{a3} : 接着系アンカーの付着性能により決まる場合のアンカー1本当たりの引張耐力(N)

σ_B : コンクリートの圧縮強度(N/mm²)

d_a : アンカー軸部の直径(mm)

l_e : 有効埋込み長さ(mm)

表 2.2.2.1-1 実験の要因と水準

区分	条件	要因	水準数	水準
短期	試験体	コンクリート目標強度 (σ_{B0})	4	12, 18, <u>27</u> , 36N/mm ²
		アンカー筋種類・径	5	D13, D19, <u>M12</u> , M20, D13 先付け
		埋込み長さ	3	<u>5da</u> , 7da, 10da
		座掘	3	無し, <u>両面</u> , 片面
	試験条件	拘束孔径	3	2D, <u>1.5D</u> , 1.2D (D: 穿孔径)
		試験時試験体温度	4	5°C, <u>20°C</u> , 40°C, 60°C
		接着剤種類	3	<u>エポキシ系</u> , エポキシアクリレート系, セメント系
長期	グループ	試験時温度	3	5°C, <u>20°C</u> , 40°C
		接着剤種類	2	エポキシ系, セメント系
		載荷荷重	1	$\tau=15\text{N/mm}^2$

注：下線部の水準は、本実験で標準とした条件を示す。

また、付着試験を行う場合の試験体に用いるアンカー筋は、試験実施やアンカー筋の入手の容易さなどの点からは全ねじボルトをアンカー筋とした方が試験実施は容易である。しかしながら構造躯体にあと施工アンカーを適用する場合には、一般に異形鉄筋を用いる。これらのアンカー筋の種類による影響は、付着破壊時の破壊面の違いやコンクリート強度の違いなどと関係していることが予想されることから、標準的な試験方法を検討する上では、コンクリート強度とアンカー筋の種類や径の影響と合わせて整理する必要がある。また、低強度のコンクリートでも同様の評価が可能かということを確認するため、コンクリートの目標強度を 12N/mm^2 とした水準を設定した。

その他の試験体の条件として、埋込み長さ（本実験では、有効埋込み長さと同義）の影響と試験体への座掘りの有無および深さの影響について検討した。本実験では、付着強度の評価を行うため、コンクリート面は拘束した状態でアンカー筋の降伏や破断を生じない荷重とするために、埋込み長さを $5d_a$ （鉄筋呼び径の5倍）を標準としている。実際の部材への施工では付着破壊を生じさせないために埋込み長さはより大きくなることから、付着強度に関する埋込み長さの影響について確認する水準を設けた。

(2) 試験条件

標準的な試験方法を検討するにあたり、試験時の各種条件が及ぼす影響について検討を行った。本実験では、コンクリートの拘束条件として試験体への座掘りの大きさの影響、試験時の温度と接着剤の種類について確認を行った。

座掘りの大きさは、ACI 指針^{2.7)}、ETAG 認証基準^{2.8)}などでは、拘束試験では穿孔径の1.5倍～2.0倍とすると規定されている。固着させたアンカーのコンクリート表面付近では施工上の問題が生じやすくなることやコンクリートの表層強度の影響などを考慮し、本実験では $2d_a$ 分の座掘りを行うことを標準としている。したがって、拘束板ではなく座掘りの穿孔径で調整した。

試験時温度および接着剤の種類は、あと施工アンカーが実際に受ける温度範囲で性能の確認の要否が必要かどうかを確認するために実施した。あと施工アンカーが屋外で使用された場合、コンクリートの表面温度は 60°C 程度まで上昇し、あと施工アンカーも表層部では瞬間的には 60°C 程度にまで上昇することが分かっている。また、冬季には関東地方でも氷点下まで下がり、コンクリート中でも 5°C 前後まで温度は低下する。これらのことを考慮し、本実験では、 5°C から 60°C までの温度範囲での付着強度および変形性状を確認した。

(3) クリープ試験

持続荷重に対する変形性状（クリープ性状）の評価として、クリープ試験を行う。クリープ試験の方法や評価方法については、これまでの基準整備促進事業の成果^{2.9)}、久保田らが実施した試験^{2.10)}などが実施されているが、試験時の温度の影響については確認されていない。本実験では、前述の短期試験における温度の影響の確認と関連し、クリープ試験時の温度の影響について確認を行い、試験条件の設定等に関する検討を行う。

2-2-2-1-2 実験スケジュール

実験スケジュールの概略を図 2.2.2.1-1 に示す。また、試験体の水準ごとの母材コンクリート打設日、施工日、試験実施日を表 2.2.2.1-2 に示す。

	H27年10月	H27年11月	H27年12月	H28年1月	H28年2月	H28年3月
実験計画 検討	←→					
母材コン クリート 打設		11/24・12/1 ←→				
アンカー 施工			12/15~19 ↔		2/15~19 (No.16・18) ↔	
短期載荷 試験			12/19~1/7 ←→		2/26~3/2 ↔	
クリープ 試験					2/19~5月下旬 ←→	
試験結果 とりまとめ						3/4事業完了 ←→

図 2.2.2.1-1 実験スケジュール

表 2.2.2.1-2 試験体の水準と施工日，試験日

水準 No.	区分	母材 強度	アンカー 筋	埋込み 長さ	座堀径	接着剤 種類	試験体 温度	母材 打設日	アンカー 施工日	引張 試験日
1	短期	27	M12	5da	1.5D	EP	20℃	12/1	12/17	12/24
2	短期	27	D13	5da	1.5D	EP	20℃	12/1	12/16	12/22
3	短期	27	D19	5da	1.5D	EP	20℃	12/1	12/16	12/25
4	短期	27	M20	5da	1.5D	EP	20℃	12/1	12/17	12/25
5	短期	18	M12	5da	1.5D	EP	20℃	12/1	12/17	12/25・26
6	短期	18	D13	5da	1.5D	EP	20℃	12/1	12/17	12/28
7	短期	18	D19	5da	1.5D	EP	20℃	12/1	12/17	12/26・28
8	短期	18	M20	5da	1.5D	EP	20℃	12/1	12/17	12/26
9	短期	36	M12	5da	1.5D	EP	20℃	11/24	12/15	12/19・21
10	短期	36	D13	5da	1.5D	EP	20℃	11/24	12/15	12/19・21
11	短期	36	D19	5da	1.5D	EP	20℃	11/24	12/15	12/21・22
12	短期	36	M20	5da	1.5D	EP	20℃	11/24	12/15	12/24
13	短期	12	D19	5da	1.5D	EP	20℃	12/1	12/18	1/4
14	短期	27	D13 先	7da	1.5D	EP	20℃	12/1	12/1	12/28・29
15	短期	27	D19 先	7da	1.5D	EP	20℃	12/1	12/1	12/29
16	短期	27	M12	7da	1.5D	EP	20℃	12/1	2/18	2/29
17	短期	27	M12	5da	1.5D	EP	20℃	12/1	12/17	12/24
18	短期	27	M12	5da	座堀無	EP	20℃	12/1	2/18	2/29
19	短期	27	M12	5da	両面座堀	EP	20℃	12/1	2/18	2/29
20	短期	27	M12	10da	1.5D	EP	20℃	12/1	2/18	2/29
21	短期	27	M12	5da	2.0D	EP	20℃	12/1	12/19	1/4
22	短期	27	M12	5da	1.5D	EP	20℃	12/1	12/17	12/24
23	短期	27	M12	5da	1.2D	EP	20℃	12/1	12/19	1/4
24	短期温度	27	M12	5da	1.5D	C	5℃	12/1	12/16	1/5
25	短期温度	27	M12	5da	1.5D	EP	5℃	12/1	12/19	1/5
26	短期温度	27	M12	5da	1.5D	EA	5℃	12/1	12/18	1/5
27	短期温度	27	M12	5da	1.5D	C	20℃	12/1	12/16	1/5
28	短期温度	27	M12	5da	1.5D	EP	20℃	12/1	12/17	12/24
29	短期温度	27	M12	5da	1.5D	EA	20℃	12/1	12/18	1/5
30	短期温度	27	M12	5da	1.5D	C	40℃	12/1	12/16	1/6
31	短期温度	27	M12	5da	1.5D	EP	40℃	12/1	12/19	1/6
32	短期温度	27	M12	5da	1.5D	EA	40℃	12/1	12/18	1/6
33	短期温度	27	M12	5da	1.5D	C	60℃	12/1	12/16	1/7
34	短期温度	27	M12	5da	1.5D	EP	60℃	12/1	12/19	1/7
35	短期温度	27	M12	5da	1.5D	EA	60℃	12/1	12/18	1/7

表中のハッチ部分は、比較用の重複する水準であり、試験は水準 No1 として実施している。

2-2-2-1-3 試験体

(1)形状および寸法

試験体は、コンクリートの変形を拘束するため、外径φ216.3mm、厚8.2mmの鋼管内にコンクリートを打設して製作した。また、穿孔時の端部の損傷を防止するため、事前に厚さ40mmのコンクリートを打ち込んでおき、その上に試験体となるコンクリートを打ち重ねた状態で穿孔した。試験体の厚さは、アンカー筋の種類・径ごとに穿孔径や穿孔深さが異なるため、表2.2.2.1-3に示す寸法で製作している。図2.2.2.1-2に試験体の寸法および形状を示す。

試験体数は、各水準7体を標準とした。

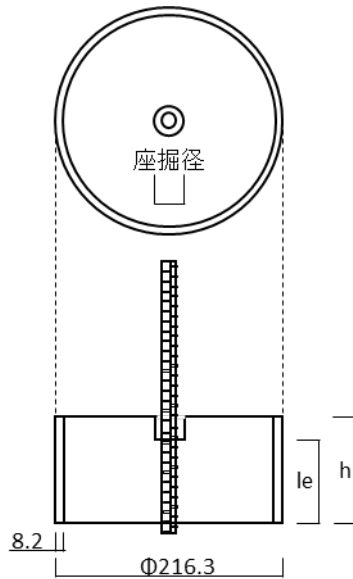


図 2.2.2.1-2 試験体の寸法および形状

表 2.2.2.1-3 試験体の寸法一覧

アンカー筋	埋込み長さ	試験体高さ h(mm)	有効埋込み長さ le(mm)	穿孔径 D (mm)	座掘径(mm)		
					1.5D	1.2D	2.0D
M12	5da	84	60	14 (樹脂系) 16 (セメント系)	21.5	17.0	28.0
	7da	84	84	14	21.5	—	—
	10da	144	120	14	21.5	—	—
D13	5da	91	65	16	24.0	—	—
D19	5da	133	95	24	35.0	—	—
M20	5da	140	100	23	35.0	—	—

(2)使用材料

1)コンクリート

母材コンクリートは、目標強度 (σ_{B0}) を 12N/mm², 18N/mm², 27N/mm²および 36N/mm²の4種類の調合とした。このうち、 $\sigma_{B0}=12$ および 18N/mm²については、住友大阪セメント(株)セメント・コンクリート研究所において製造および打込みを行った。 $\sigma_{B0}=27$ および 36N/mm²については、レデ

イーミクストコンクリートを使用し、(株)アシスにおいて打ち込んだ。いずれの調合も目標スランブ18cm, 目標空気量4.5%とした。表2.2.2.1-4に母材コンクリートの使用材料, 表2.2.2.1-5に調合, 表2.2.2.1-6にフレッシュ試験の結果を示す。

母材コンクリートの強度は、材齢28日標準養生供試体の圧縮強度およびヤング係数試験と、付着試験の実施日と同程度の材齢となる日に現場封かん養生供試体の圧縮強度およびヤング係数試験を行った。試験方法は、JIS A 1108 および JIS A 1149 に従った。

圧縮強度および静弾性係数試験の結果を表2.2.1.7に示す。また、圧縮強度と静弾性係数の関係を図2.2.2.1-3に示す。圧縮強度は、目標強度が12および18N/mm²のコンクリートは目標よりも強度が大きく、目標強度27N/mm²のコンクリートは目標よりも強度が小さい結果となった。

表2.2.2.1-4 母材コンクリートの使用材料

σ_{B0}	材料	仕様
12N/mm ² および 18N/mm ²	セメント(C)	普通ポルトランドセメント (密度: 3.16g/cm ³)
	水(W)	水道水
	粗骨材(G1)	青森県八戸市産石灰石砕石 2010 (表乾密度 2.71g/cm ³)
	粗骨材(G2)	栃木県佐野市産珪岩砕石 2005 (表乾密度 2.63g/cm ³)
	粗骨材(G3)	青森県八戸市産石灰石砕石 1505 (表乾密度 2.71g/cm ³)
	細骨材(S1)	福岡県北九州市産石灰石砕砂 (表乾密度 2.69g/cm ³)
	AE 減水剤(Ad1)	リグニンスルホン酸塩およびオキシカルボン酸塩 AE 減水剤標準型
	空気量調整剤(Ad2)	ポリアルキレングリコール誘導体空気量調整剤
27N/mm ² および 36N/mm ²	セメント(C)	普通ポルトランドセメント (密度: 3.16g/cm ³)
	水(W)	水道水
	粗骨材(G1)	茨城県つくば市産砕石 2005 (表乾密度 2.67g/cm ³)
	粗骨材(G2)	茨城県石岡市産砕石 2005 (表乾密度 2.67g/cm ³)
	細骨材(S1)	茨城県鹿嶋市産陸砂 (表乾密度 2.58g/cm ³)
	細骨材(S2)	茨城県行方市産陸砂 (表乾密度 2.58g/cm ³)
	AE 減水剤(Ad1)	リグニンスルホン酸塩およびオキシカルボン酸塩 AE 減水剤標準型

表2.2.2.1-5 母材コンクリートの調合

σ_{B0} (N/mm ²)	呼び 強度	W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)								
				C	W	G1	G2	G3	S1	S2	Ad1	Ad2
12	—	89.0	56.0	211	188	162	470	162	1022	—	2.11	0.32
18	—	79.8	53.8	236	188	173	505	173	1001	—	2.36	—
27	18	67.0	48.6	265	177	478	475	—	436	433	2.65	—
36	30	49.5	45.0	364	180	486	483	—	384	384	3.64	—

表 2.2.2.1-6 母材コンクリートのフレッシュ性状

σ_{B0} (N/mm ²)	打設日	バッチ	スランプ (cm)	スランプフ ロー(cm)	空気量 (%)	練上り温度 (°C)
12	11/24	1バッチ目	22.5	41/42	5.0	20.2
18	11/24	1バッチ目	23.5	44/42	5.0	20.2
	11/24	3バッチ目	23.0	42/41	5.4	20.0
27	11/24	—	18.5	—	4.8	22.0
36	12/1	—	18.5	—	5.1	19.0

表 2.2.2.1-7 母材コンクリートの強度試験結果

σ_{B0} (N/mm ²)	打設日			現場封かん養生			
		試験日	標準養生	1月4日			
12	11月24日	試験日	12月22日	1月4日			
		材齢(日)	28	44			
		圧縮強度(N/mm ²)	19.0	20.2			
		ヤング係数(kN/mm ²)	22.9	24.9			
18	11月24日	試験日	12月22日	12月26日			
		材齢(日)	28	32			
		圧縮強度(N/mm ²)	23.9	22.4			
		ヤング係数(kN/mm ²)	27.9	24.3			
27	12月1日	試験日	12月29日	12月22日	12月29日	1月4日	2月20日
		材齢(日)	28	21	28	34	88
		圧縮強度(N/mm ²)	21.6	20.3	22.3	22.6	25.4
		ヤング係数(kN/mm ²)	18.3	18.8	18.8	20.5	20.5
36	11月24日	試験日	12月22日	12月19日			
		材齢(日)	28	25			
		圧縮強度(N/mm ²)	34.3	33.7			
		ヤング係数(kN/mm ²)	22.7	25.1			

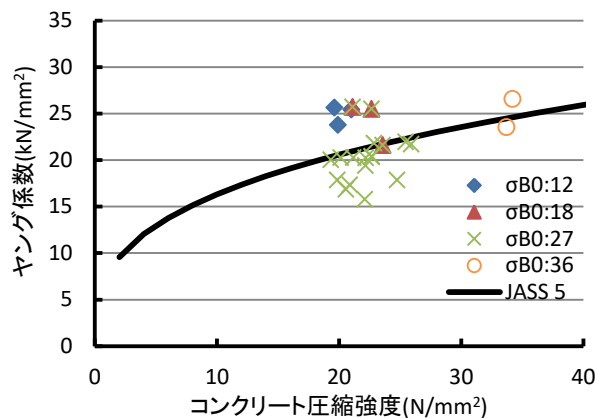


図 2.2.2.1-3 母材コンクリートの圧縮強度とヤング係数の関係

2)アンカー筋

アンカー筋は、全ねじボルトと異形鉄筋を用いた。全ねじボルトは、鋼種が JIS G 4107（高温用合金鋼ボルト材）に規定される SNB7、呼び名 M12 および M20、異形鉄筋は、降伏点強度 785N/mm²相当、呼び名 D13 および D19 の高強度鉄筋を用いた。また、M12 のボルトについては、埋込み長さが 7da の水準（水準 No.16）および 10da の水準（水準 No.20）のみ高強度の全ねじボルトを用いた。実験に用いたアンカー筋の機械的性質を表 2.2.2.1-8 に示す。

表 2.2.2.1-8 アンカー筋の機械的性質

アンカー筋種類	鋼種	降伏点強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	破断伸び (%)
M12	SNB7*	725 以上	—	860 以上	16 以上
	高強度**			1000 以上	
D13	MK785	805	1.66×10 ²	986	10.1
D19	SHD685	742	1.70×10 ²	989	11.6
M20	SNB7*	725 以上	—	860 以上	16 以上

* JIS G 4107 における規格値

** ドイツより輸入した高強度ねじ筋（引張強さの最小値のみ規定）

3)接着剤および施工方式

接着剤はエポキシ系の樹脂を標準として用い、注入方式・カートリッジ型・ミキシングノズル式で施工した。また、温度の影響を確認する水準（表 2.2.2.1-2 の水準 No.24～35）においては、エポキシ系樹脂のほか、エポキシアクリレート系の樹脂（注入方式・カートリッジ型）およびセメント系（注入方式・現場調合型）の接着剤を用いた。実験に使用した接着剤の品質を表 2.2.2.1-9 に示す。

表 2.2.2.1-9 使用した接着剤の品質

品質項目	フィラー配合率 (%)	圧縮強さ (N/mm ²)	圧縮弾性率 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
JCAA 製品認証規格値*	—	98.0 以上	2000 以上	19.6 以上	29.4 以上
エポキシ系		110.0	2220	44.3	67.7
エポキシアクリレート系		198.6	2230	52.0	86.4
セメント系		62.1	—	—	9.1

*: フィラーを含まない樹脂の規格値

(3)試験体の製作方法

試験体の製作手順を表 2.2.2.1-10 および表 2.2.2.1-11 に示す。本実験では、穿孔の精度を確保するために専用の治具を用いた。また、アンカー筋の固着の際にも専用の治具を用いて垂直になるように施工した。穿孔用の治具の概略図を図 2.2.1-4 に、固着時の垂直保持用の治具の図面を図 2.2.2.1-5 に示す。また、写真 2.2.2.1-1 に専用治具への固定状況、写真 2.2.2.1-2 に穿孔状況、写真 2.2.2.1-3 に接着剤の注入状況、写真 2.2.2.1-4 にアンカー筋の固着状況を示す。

試験体の施工は、建築研究所複合材料実験棟内で実施し、施工期間中の温度は空調によって 20±3℃

程度の範囲で行っている。

表 2.2.2. 1-10 試験体の製作手順（エポキシ系・エポキシアクリレート系）

施工の流れ	手順
①準備	施工工具、アンカー筋の準備（適当な長さに切断）
②墨出し	墨出し基準位置の確認
③コンクリートドリルの選定	穿孔径に応じたドリルビットを選定する
④マーキング（ドリル）	所定の穿孔深さとなるようにドリルビットにマーキングをする
⑤コンクリートへの穿孔	母材面に直角になるように所定の深さまで穿孔する
⑥孔内清掃および穿孔深さの確認	
1. 吸じん	穿孔後、孔の中の切粉を吸じんする
2. 穿孔深さの確認	穿孔深さを確認する
3. ブラッシング	穿孔側面にブラシをかけ孔内を清掃する
4. 吸じん	再度孔内を吸じんし、孔の中を清掃する
⑦マーキング（アンカー筋）	穿孔深さに合わせてアンカー筋にマーキングする
⑧注入	ミキシングノズルを孔底まで挿入し孔底および樹脂内にエア溜まりが出来ないようにノズルを引き上げながら注入する
⑨アンカー筋埋込み	アンカー筋を手でゆっくり回転させながら一定の速度で孔底まで埋込む
	樹脂の内部にエア溜まりがある場合またはアンカー筋挿入時にエアが樹脂内に巻き込まれた場合は、アンカー筋を上下させてエアが抜けたことを確認後上記のように回転させて埋込む
⑩硬化養生	所定の硬化時間内はアンカー筋を動かさず、所定の温度以上を保つ

表 2.2.2. 1-11 試験体の製作手順（セメント系） エポキシ系との相違点のみ

施工の流れ	手順
⑧材料の混練	セメント粉体等が入ったカートリッジに専用混和液を入れカートリッジを上下に5、6回大きく振ってかき混ぜる
	電動ドリルおよび専用のミキサを用いて20秒間攪拌する
⑨注入	プラスチックノズルを孔底まで挿入し、孔底および樹脂内にエア溜まりが出来ないようにノズルを引き上げながら注入する
⑩アンカー筋埋込み	アンカー筋を手でゆっくり回転させながら一定の速度で孔底まで埋込む
	樹脂の内部にエア溜まりがある場合またはアンカー筋挿入時にエアが樹脂内に巻き込まれた場合は、アンカー筋を上下させてエアが抜けたことを確認後上記のように回転させて埋込む
⑪硬化養生	所定の硬化時間内はアンカー筋を動かさない

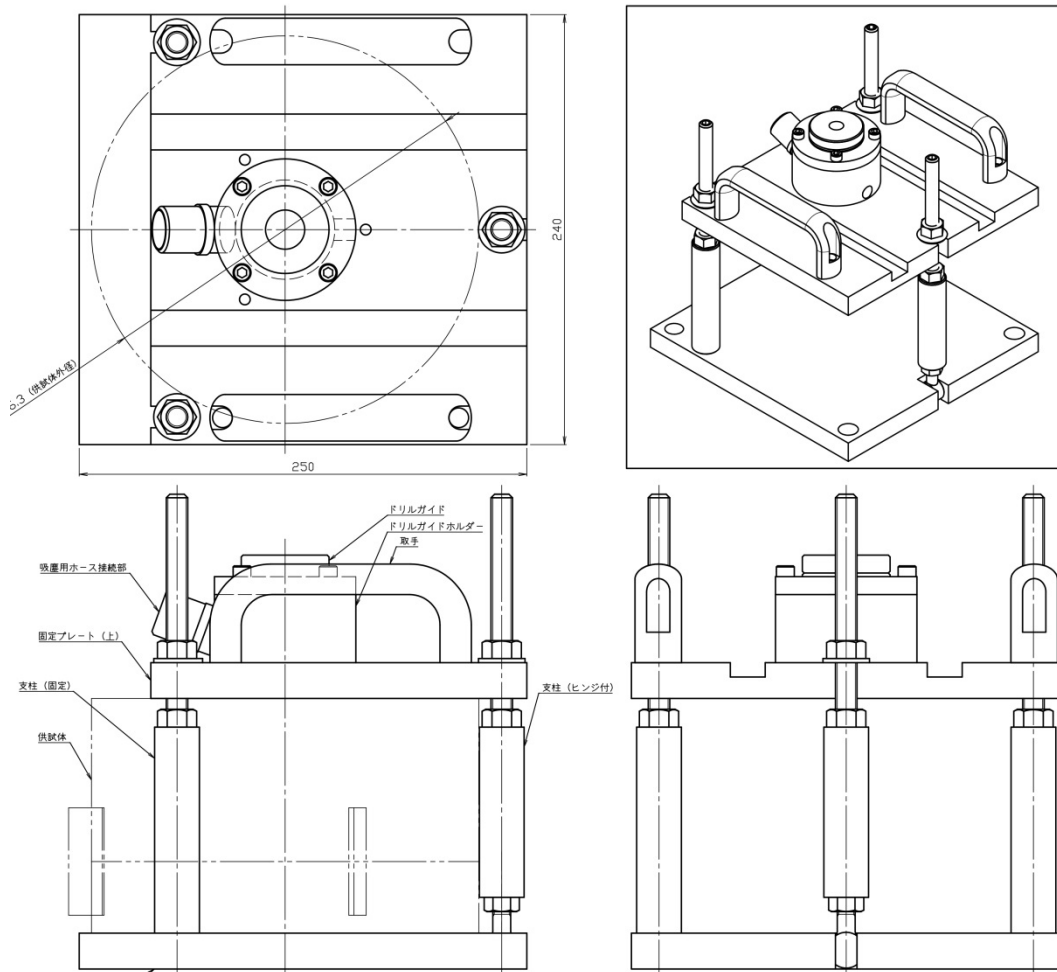


図 2.2.2.1-4 穿孔用治具の概略図

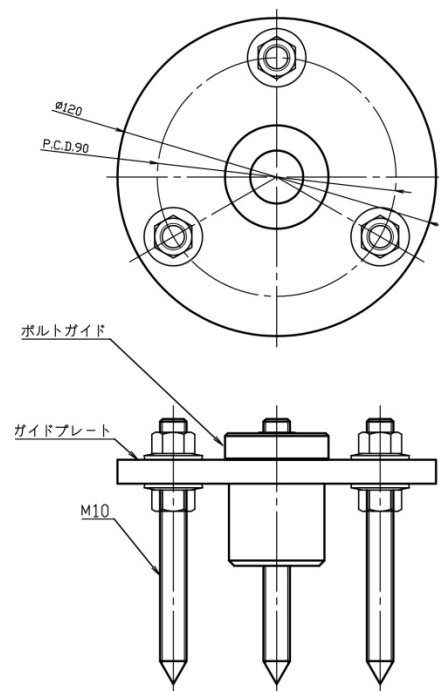


図 2.2.2.1-5 固着時の垂直保持用治具



写真 2.2.2.1-1 試験体の固定状況



写真 2.2.2.1-2 穿孔状況

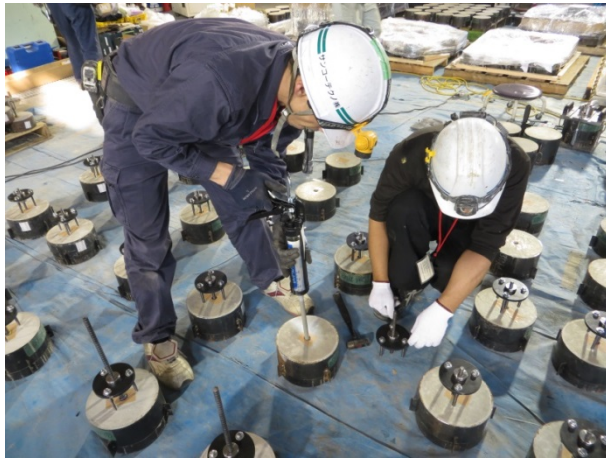


写真 2.2.2.1-3 接着剤の注入状況



写真 2.2.2.1-4 アンカー筋の固着状況

(4) 試験体の施工精度

本実験では、専用の治具を用いて穿孔およびアンカー筋の固着を行った。本実験では、穿孔深さ、穿孔径、アンカー筋の垂直度について施工精度を測定した。穿孔深さは試験体の高さから座掘りの深さを計測して減じた値とした。これらの施工精度を表 2.2.2.1-12 に示す。

表 2.2.2.1-12 試験体の施工精度

アンカー筋 (試験体数)	埋込み長さ(mm)			穿孔径(mm)			垂直度(deg.)		
	目標値	平均値	標準偏差	目標値	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
D13(3)	65.0	66.4	1.37	16.0			±1.80	0.69	
D19(4)	95.0	104.9	2.57	24.0			±1.70	0.80	
M12	エポキシ(17)	60.0	65.3	4.68	14.0	14.2	0.53	±1.84	0.76
	セメント(4)				16.0	16.2	0.10		
M20(3)	100.0	108.9	1.50	23.0			±1.48	1.03	

2-2-2-1-4 加力・計測方法

(1) 短期荷重試験

短期荷重試験用の試験装置は、異形鉄筋と全ねじボルトではアンカー筋と荷重用ロッド間のチャックの形状が異なるため、それぞれ別の荷重試験装置を用いた。図 2.2.2.1-6 に異形鉄筋用の荷重装置、図 2.2.2.1-7 に全ねじボルト用の荷重装置、図 2.2.2.1-8 に変位の計測状況を示す。また、写真 2.2.2.1-5 および写真 2.2.2.1-6 に計測状況を示す。写真 2.2.2.1-7 に異形鉄筋用のチャックを示す。

試験体への加力は油圧ジャッキおよび油圧ポンプを用いて、荷重速度 30kN/min 程度となるように手で荷重した。荷重の計測はセンターホール型のロードセルを用いた。変位の計測は、自由端変位 1 箇所、荷重側の変位を 2 箇所とした。自由端変位は試験体の自由端側の母材に鋼板を張り付けてそこに変位計を固定することによって母材コンクリートの変形の影響を除いた。コンクリート荷重側の

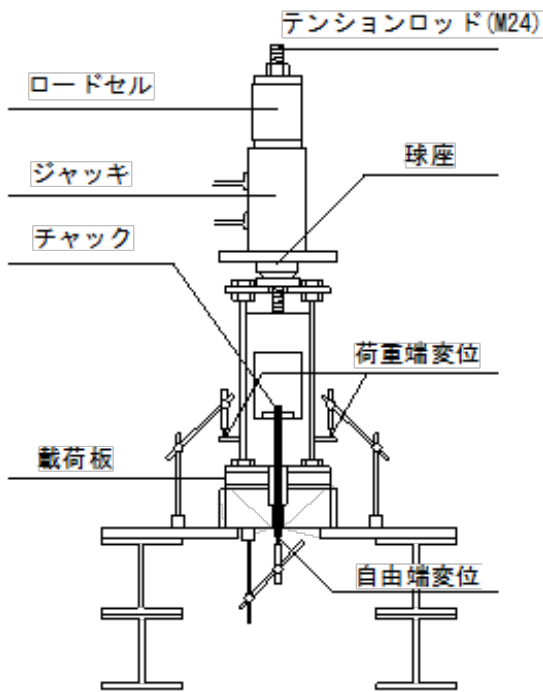


図 2.2.2.1-6 荷重試験装置（異形鉄筋用）

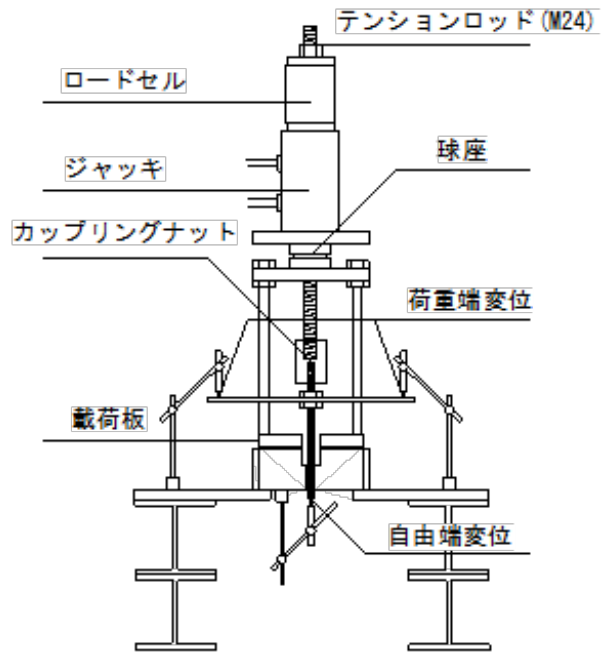


図 2.2.2.1-7 荷重試験装置（全ねじボルト用）

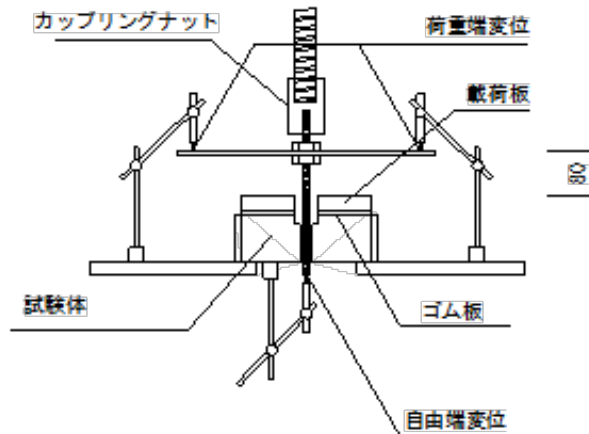


図 2.2.2.1-8 変位計測の状況図

変位はコンクリート表面から高さ 80mm の位置で左右 2 箇所計測し、異形鉄筋、全ねじボルトとも同じ位置とした。ロードセルおよび変位計はデータロガーに接続し、荷重中は 1 秒間隔で連続測定を行った。

試験時の温度の管理は、20℃環境については、試験室を 20±2℃となるように空調し、試験体は試験実施 24 時間以上前に 20℃・60%R.H.の恒温恒湿槽内で養生した。5℃、40℃、60℃の水準については、試験体を試験実施 48 時間以上前に所定の温度の恒温恒湿槽内で養生し、試験直前に移動して 20±2℃の試験室内で試験を行った。



写真 2.2.2.1-5 荷重試験装置（異形鉄筋）

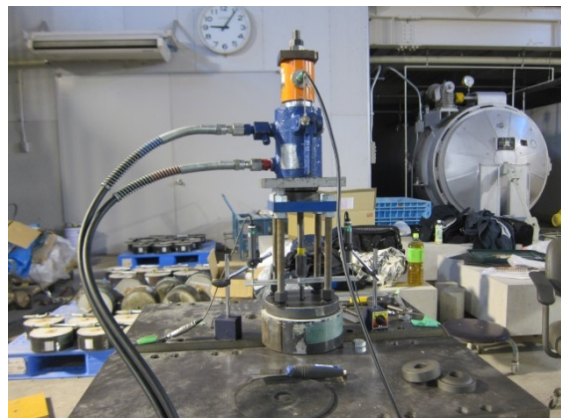


写真 2.2.2.1-6 荷重試験装置（全ねじボルト）



写真 2.2.2.1-7 異形鉄筋用のチャック

(2) 長期荷重試験

長期荷重試験は、表 2.2.2.1-1 に示したように荷重中の温度および接着剤の種類を水準として実施している。図 2.2.2.1-9 に荷重試験装置、写真 2.2.2.1-8 に荷重状況を示す。長期荷重試験のための治具は、平成 22 年から 24 年に実施された建築基準整備促進事業「あと施工アンカーの長期許容応力度の設定に関する検討」において検討された方法^{2.7)}を参考にしている。

長期荷重試験は、平成 27 年度の検討においては、荷重および計測開始までを計画としている。クリープ試験の場所は、5℃環境が建築研究所材料環境実験棟内の恒温恒湿室、20℃環境が建築研究所クリープ実験棟材料クリープ試験室、40℃が建築研究所恒温恒湿実験施設に試験装置を設置した。温湿度管理は、5℃環境は、温度 5±2℃、湿度管理は行っていないが、相対湿度 60～70%の範囲にある。20℃

環境は、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $65 \pm 5\%$ で管理している。40°C環境は、温度 $40 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度管理は行っていないが、相対湿度 20~30%の範囲にある。

クリープ载荷の荷重は、付着強度 $\tau = 15\text{N/mm}^2$ 相当の荷重とし、M12・5da の場合に、33.9kN となる。これを目標荷重として導入した。最大耐力に対する比は 0.5 程度となり、既往の検討においては一定のクリープ変形を生じるものの、20°Cでは3ヶ月程度ではクリープ破壊は生じない程度の荷重レベルである。

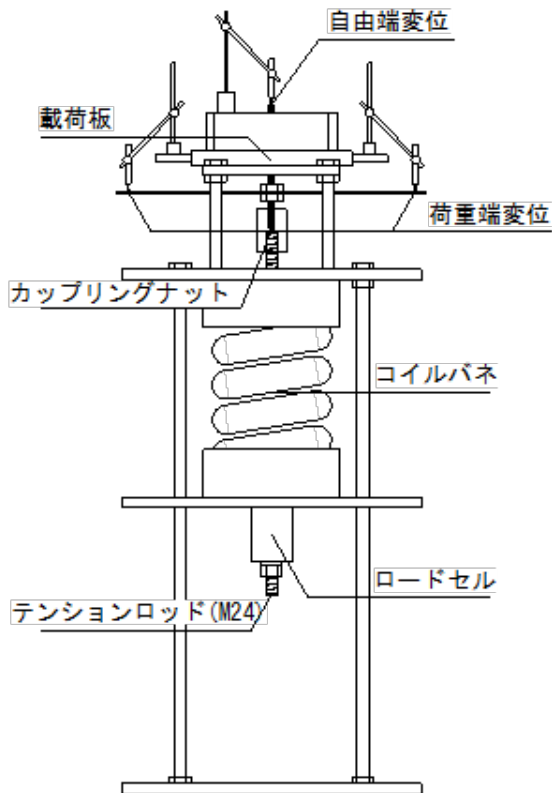


図 2.2.2.1-9 クリープ载荷試験装置



写真 2.2.2.1-8 クリープ試験状況

2-2-2-2 短期載荷試験結果

2-2-2-2-1 試験結果

表 2.2.2.2-1～表 2.2.2.2-2 に試験結果の一覧を示す。また、図 2.2.2.2-1 水準 No.1 における荷重－変位曲線、図 2.2.2.2-2 に自由端および載荷端変位の例を示す。なお、全水準の荷重－変位曲線は付録 4 に示している。また、全ねじボルト異形鉄筋および先付け鉄筋における破断位置の例を写真 2.2.2.2-1～写真 2.2.2.2-6 に示す。

試験結果はそれぞれ以下のように整理した。

付着強度は、最大荷重を付着面積で除して求める。付着面積は、アンカー筋の呼び径を基準とし(2.2.2.2-1)式で算出したものを標準とした。このほか、母材コンクリートと接着剤の界面での破壊を考慮し、穿孔径を基準にした場合の付着強度を(2.2.2.2-2)式で求めた。また、(2.2.2.1-1)式に示すように、母材コンクリート強度によって最大耐力を算定することから、(2.2.2.2-3)式および(2.2.2.2-4)式によって、コンクリート強度の影響を基準化した付着強度を求めた。なお、付着強度 τ_1 には、t 分布・N=7 (自由度 6) とした場合の 95%信頼下限値 (正規偏差：1.943) をあわせて示す。

変形に関する結果は、最大荷重時の変位および自由端変位が 0.002Dmm 時の付着応力を求めた。最大荷重時の変位は、破壊時の変形特性を示し、0.002D 時の応力は初期剛性を示す。

$$\tau_1 = \frac{P}{\pi \cdot d_a \cdot l_e} \quad (2.2.2.2-1)式$$

$$\tau_2 = \frac{P}{\pi \cdot d_d \cdot l_e} \quad (2.2.2.2-2)式$$

$$\tau_1^* = \frac{P}{\pi \cdot d_a \cdot l_e} \cdot \sqrt{\frac{21}{\sigma_B}} \quad (2.2.2.2-3)式$$

$$\tau_2^* = \frac{P}{\pi \cdot d_d \cdot l_e} \cdot \sqrt{\frac{21}{\sigma_B}} \quad (2.2.2.2-4)式$$

ここで、

τ_1 : アンカー筋径を基準とした付着強度 (N/mm²)

τ_2 : 穿孔径を基準とした付着強度 (N/mm²)

τ_1^* : アンカー筋径を基準とし、コンクリート強度で基準化した付着強度 (N/mm²)

τ_2^* : 穿孔径を基準とし、コンクリート強度で基準化した付着強度 (N/mm²)

P : 試験における最大荷重 (kN)

d_a : アンカー筋の呼び径 (mm)

d_d : 穿孔径 (mm)

l_e : 埋込み長さ (mm)

σ_B : コンクリートの圧縮強度 (本実験では直近の試験値) (N/mm²)

表 2.2.2-1 試験結果の一覧（付着強度および破壊界面）

水準 No.	σB	アンカー筋 種類	埋込み 長さ	座掘り 孔径 (形状)	付着強度 τ_1 (N/mm ²)		変動係数	付着強度 τ_2 (N/mm ²)		標準偏差	付着強度 τ_1^* (N/mm ²)	付着強度 τ_2^* (N/mm ²)	直近コンク リート強度 (N/mm ²)	破壊位置	
					平均	標準偏差		平均	標準偏差					鉄筋表面	コンクリート界面
1	27	M12	5da	1.5D	29.2	1.09	0.037	25.0	0.94	29.7	25.4	20.3	5/7	2/7	0/7
2	27	D13	5da	1.5D	23.0	1.34	0.058	18.3	1.06	23.4	18.6	20.3	5/7	0/7	2/7
3	27	D19	5da	1.5D	23.0	1.86	0.081	18.3	1.48	23.4	18.6	20.3	0/6	3/7	4/7
4	27	M20	5da	1.5D	21.1	1.62	0.077	18.3	1.41	21.5	18.7	20.3	0/6	6/6	0/6
5	18	M12	5da	1.5D	33.6	1.13	0.034	28.8	0.97	32.5	27.8	22.4	3/7	4/7	0/7
6	18	D13	5da	1.5D	29.1	1.82	0.063	23.2	1.45	28.2	22.4	22.4	7/7	0/7	0/7
7	18	D19	5da	1.5D	27.1	1.46	0.054	21.6	1.16	26.2	20.9	22.4	7/7	0/7	0/7
8	18	M20	5da	1.5D	22.4	1.70	0.076	19.5	1.47	21.7	18.9	22.4	0/7	4/7	3/7
9	36	M12	5da	1.5D	30.6	1.69	0.055	26.3	1.45	24.2	20.7	33.7	7/7	0/7	0/7
10	36	D13	5da	1.5D	31.5	1.70	0.054	25.1	1.36	24.8	19.8	33.7	2/6	0/7	4/6
11	36	D19	5da	1.5D	25.4	1.18	0.047	20.2	0.94	20.0	15.9	33.7	1/6	2/6	3/6
12	36	M20	5da	1.5D	27.2	1.21	0.044	23.7	1.05	21.5	18.7	33.7	0/6	6/6	0/6
13	12	D19	5da	1.5D	25.7	1.71	0.066	20.5	1.36	26.3	20.9	20.2	7/7	0/7	0/7
14	27	D13先	7da	1.5D	9.5	0.45	0.047	9.2		9.2		22.6	5/7	0/7	2/7
15	27	D19先	7da	1.5D	9.6	0.68	0.071	9.2		9.2		22.6	0/7	0/7	7/7
16	27	M12	5da	座掘無	26.5	2.47	0.093	22.2	2.07	24.1	20.2	25.4	2/7	3/7	2/7
17	27	M12	5da	片面2da	29.2	1.09	0.037	25.0	0.94	29.7	25.4	20.3	5/7	2/7	0/7
18	27	M12	5da	片面座掘	26.4	0.31	0.012	22.2	0.26	24.0	20.2	25.4	0/2	1/2	1/2
19	27	M12	7da	1.5D	30.1	1.18	0.039	25.3	0.99	27.4	23.0	25.4	1/4	1/4	2/4
20	27	M12	10da	1.5D	アンカー筋破断のため計測せず							25.4	—	—	—
21	27	M12	5da	2.0D	26.7	3.22	0.120	22.9	2.76	25.9	22.2	22.3	0/7	7/7	0/7
22	27	M12	5da	1.5D	29.2	1.09	0.037	25.0	0.94	29.7	25.4	20.3	5/7	2/7	0/7
23	27	M12	5da	1.2D	27.0	26.50	3.823	22.7	3.28	26.2	22.0	22.3	0/7	5/7	2/7
No.	σB	アンカー筋	試験時 温度	樹脂 種類	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
24	27	M12	5°C	C	21.5	2.33	0.108	18.4	1.99	20.7	17.8	22.6	4/7	3/7	0/7
25	27	M12	5°C	EP	30.5	2.61	0.085	26.1	2.23	29.4	25.2	22.6	6/7	0/7	1/7
26	27	M12	5°C	EA	24.0	2.00	0.083	20.6	1.72	23.1	19.8	22.6	6/7	0/7	1/7
27	27	M12	20°C	C	23.8	3.78	0.158	20.4	3.24	23.0	19.7	22.6	2/7	4/7	1/7
28	27	M12	20°C	EP	29.2	1.09	0.037	25.0	0.94	29.7	25.5	20.3	5/7	2/7	0/7
29	27	M12	20°C	EA	21.4	2.03	0.095	18.4	1.74	20.7	17.7	22.6	5/7	0/7	2/7
30	27	M12	40°C	C	25.7	2.40	0.094	22.0	2.06	24.7	21.2	22.6	3/6	1/6	2/6
31	27	M12	40°C	EP	26.6	1.27	0.048	22.8	1.09	25.7	22.0	22.6	2/7	4/7	1/7
32	27	M12	40°C	EA	22.3	1.94	0.087	19.1	1.66	21.5	18.5	22.6	7/7	0/7	0/7
33	27	M12	60°C	C	19.6	3.82	0.195	16.8	3.27	18.9	16.2	22.6	1/7	5/7	1/7
34	27	M12	60°C	EP	26.6	1.27	0.048	22.8	1.09	25.7	22.0	22.6	2/7	4/7	1/7
35	27	M12	60°C	EA	20.6	0.53	0.026	17.7	0.46	19.9	17.1	22.6	7/7	0/7	0/7

表 2.2.2.2-2 試験結果の一覧（最大荷重時の変位および0.002D時の付着応力）

水準 No.	σB	アンカー筋 種類	埋込み 長さ	座掘り 孔径 (形状)	最大荷重時の変位(mm)			0.002D時の付着応力(N/mm ²)		
					平均	標準偏差	変動係数	平均	標準偏差	変動係数
1	27	M12	5da	1.5D	0.65	0.12	0.180	8.3	0.52	0.063
2	27	D13	5da	1.5D	1.42	0.23	0.159	8.9	0.64	0.072
3	27	D19	5da	1.5D	1.15	0.55	0.478	6.8	2.50	0.368
4	27	M20	5da	1.5D	0.38	0.11	0.302	10.2	1.15	0.113
5	18	M12	5da	1.5D	0.50	0.09	0.176	12.7	1.74	0.137
6	18	D13	5da	1.5D	1.83	0.28	0.151	12.1	2.19	0.181
7	18	D19	5da	1.5D	1.86	0.26	0.141	11.3	2.38	0.211
8	18	M20	5da	1.5D	0.35	0.08	0.227	13.4	0.42	0.031
9	36	M12	5da	1.5D	0.48	0.15	0.317	10.6	3.00	0.283
10	36	D13	5da	1.5D	2.88	0.48	0.167	9.6	0.94	0.098
11	36	D19	5da	1.5D	1.18	0.30	0.257	9.8	1.14	0.116
12	36	M20	5da	1.5D	0.29	0.07	0.252	7.7	1.86	0.242
13	12	D19	5da	1.5D	2.63	2.00	0.762	12.0	2.11	0.176
14	27	D13先	7da	1.5D	0.86	0.39	0.451	4.5	1.20	0.267
15	27	D19先	7da	1.5D	1.13	0.18	0.163	3.9	1.03	0.264
16	27	M12	5da	座掘り無	1.06	0.15	0.139	6.4	0.60	0.094
17	27	M12	5da	片面2da	0.65	0.12	0.180	8.3	0.52	0.063
18	27	M12	5da	両面座掘	0.73	0.27	0.374	10.1	0.16	0.281
19	27	M12	7da	1.5D	0.51	0.07	0.135	8.2	1.37	0.168
20	27	M12	10da	1.5D						
21	27	M12	5da	2.0D	0.45	0.12	0.270	8.8	1.61	0.183
22	27	M12	5da	1.5D	0.65	0.12	0.180	8.3	0.52	0.063
23	27	M12	5da	1.2D	0.40	0.15	0.383	10.1	0.61	0.060
No.	σB	アンカー筋	試験時 温度	樹脂 種類	↓	↓	↓	↓	↓	↓
24	27	M12	5°C	C	0.53	0.32	0.605	10.5	1.47	0.140
25	27	M12	5°C	EP	0.70	0.09	0.123	8.8	0.68	0.077
26	27	M12	5°C	EA	0.48	0.24	0.506	7.2	1.67	0.233
27	27	M12	20°C	C	0.29	0.11	0.385	11.9	1.85	0.155
28	27	M12	20°C	EP	0.65	0.12	0.180	8.3	0.52	0.063
29	27	M12	20°C	EA	0.43	0.21	0.486	6.1	0.94	0.155
30	27	M12	40°C	C	0.28	0.06	0.228	10.9	1.67	0.153
31	27	M12	40°C	EP	0.54	0.11	0.200	8.3	0.77	0.093
32	27	M12	40°C	EA	0.48	0.24	0.506	6.6	0.61	0.092
33	27	M12	60°C	C	0.31	0.09	0.596	8.5	1.02	0.121
34	27	M12	60°C	EP	1.02	0.09	0.089	5.2	0.71	0.137
35	27	M12	60°C	EA	0.45	0.13	0.287	5.4	0.95	0.176

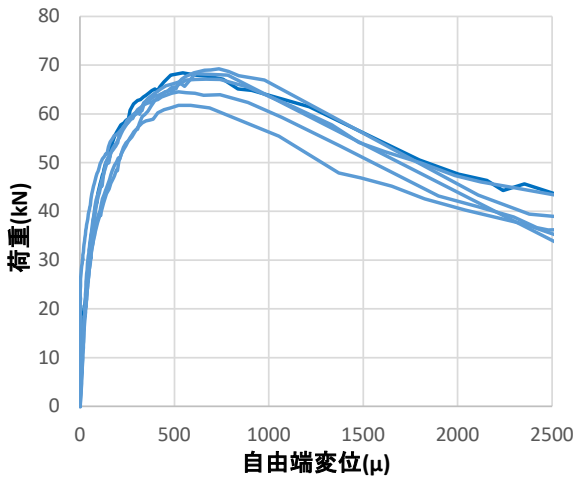


図 2.2.2.2-1 荷重－変位曲線の例（水準 No. 1
・自由端）

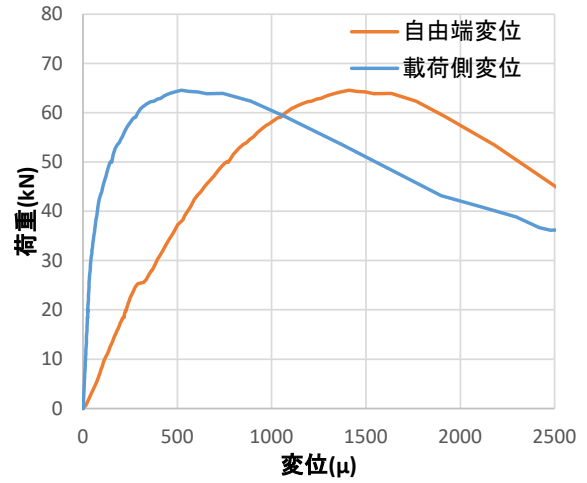


図 2.2.2.2-2 荷重－変位曲線の例（自由
端・載荷端）

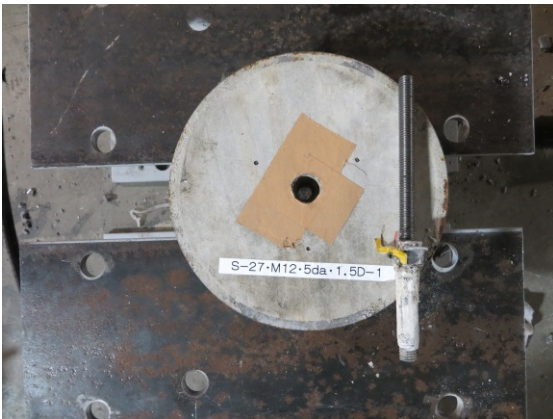


写真 2.2.2.2-1 試験後の状況
全ねじ（破壊界面：接着剤－コンクリート）

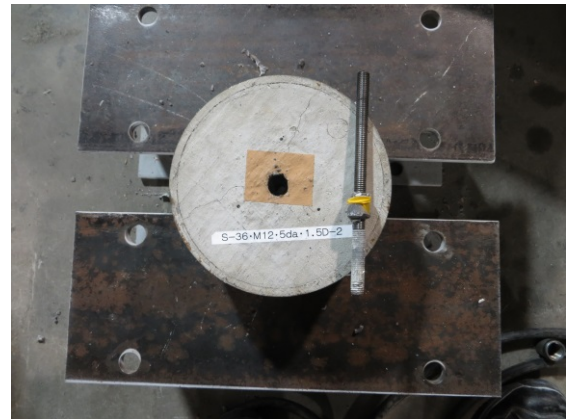


写真 2.2.2.2-2 試験後の状況
全ねじ（破壊界面：接着剤－鉄筋）

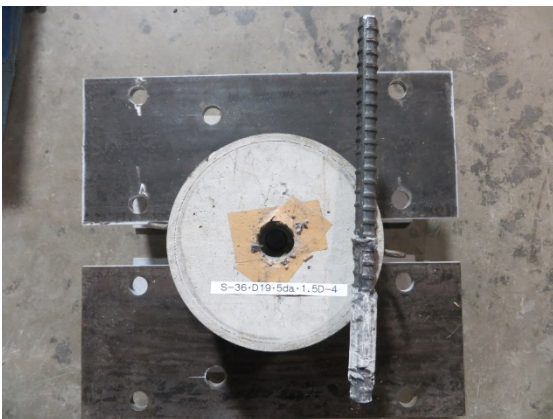


写真 2.2.2.2-3 試験後の状況
異形鉄筋（破壊界面：接着剤－コンクリート）

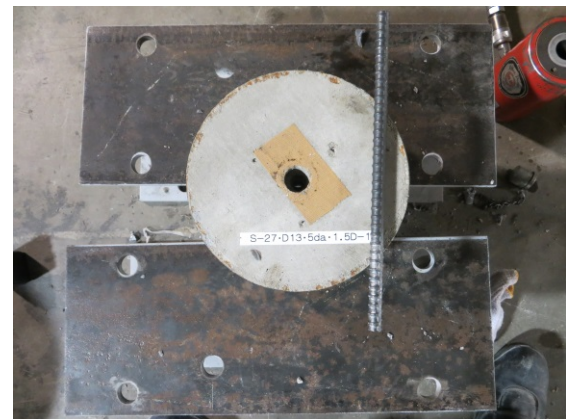


写真 2.2.2.2-4 試験後の状況
異形鉄筋（破壊界面：接着剤－鉄筋）

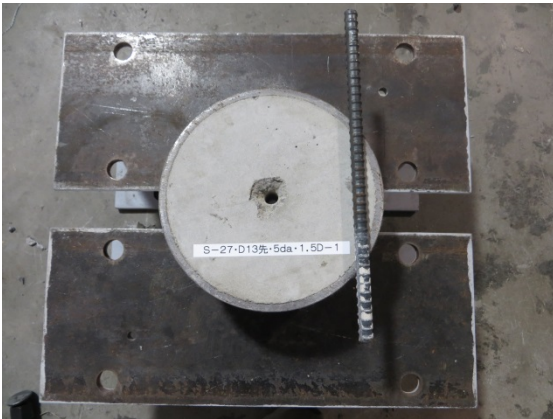


写真 2.2.2.2-5 試験後の状況
先付け鉄筋 D13（鉄筋界面）



写真 2.2.2.2-6 試験後の状況
先付け鉄筋 D19（鉄筋界面）

2-2-2-2-2 アンカー筋種類およびアンカー筋径の関係

付着強度について、アンカー筋の種類およびコンクリートの目標強度ごとに整理した。図 2.2.2.2-3 および図 2.2.2.2-4 に鉄筋径を基準とした場合、図 2.2.2.2-5 および図 2.2.2.2-6 にコンクリート強度で基準化した付着強度を示す。また、自由端変位について、最大荷重時の変位とその変動係数を図 2.2.2.2-7 および図 2.2.2.2-8 に、0.002D 時の応力とその変動係数を図 2.2.2.2-9 および図 2.2.2.2-10 に示す。

付着強度については、全体的な傾向として、 $M12 > D13 \approx D19 > M20$ のような大小関係となる。全ねじボルトは径が大きくなると付着強度が低下する傾向にある。異形鉄筋では同じか鉄筋径が大きくなると若干低下する程度である。(2.2.2.2-3)式に示されるようにコンクリートの圧縮強度で基準化した場合、M20 では付着強度は同程度となっているが、その他のアンカー筋ではコンクリート強度が小さいほど付着強度が大きく算定される傾向にある。最大荷重時の変位は、全ねじボルトと異形鉄筋では異形鉄筋が大きい、異形鉄筋は 1mm を超えるが全ねじボルトでは 1mm 以下の値となる。最大荷重時の変位は、クリープ試験結果の評価に関わるため、長期性能を評価する場合には、これらの傾向を把握しておく必要がある。

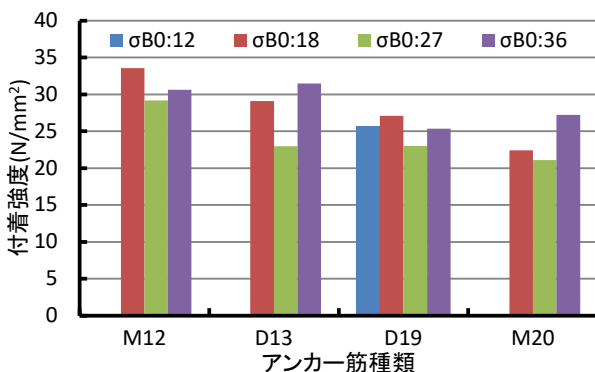


図 2.2.2.2-3 付着強度（アンカー筋ごと）

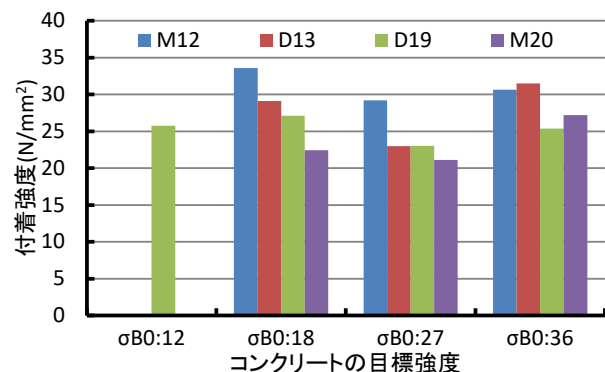


図 2.2.2.2-4 付着強度（コンクリート目標強度ごと）

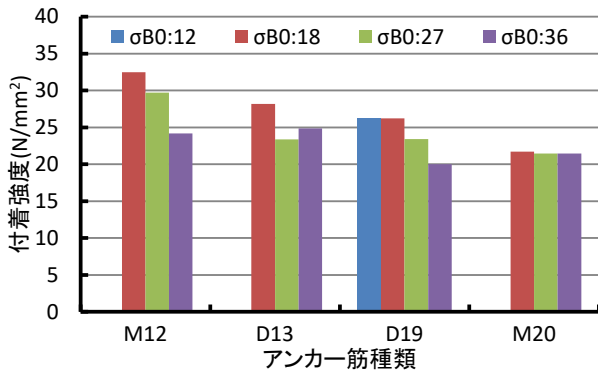


図 2.2.2.2-5 コンクリート強度で基準化した付着強度（アンカー筋ごと）

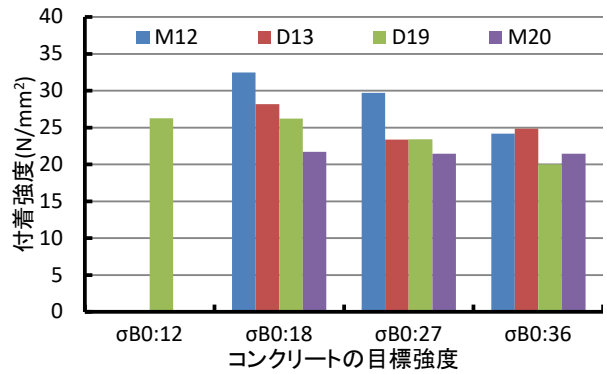


図 2.2.2.2-6 コンクリート強度で基準化した付着強度（コンクリート目標強度ごと）

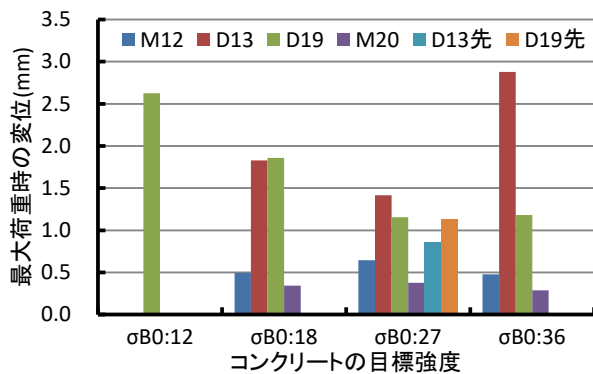


図 2.2.2.2-7 最大荷重時の自由端変位

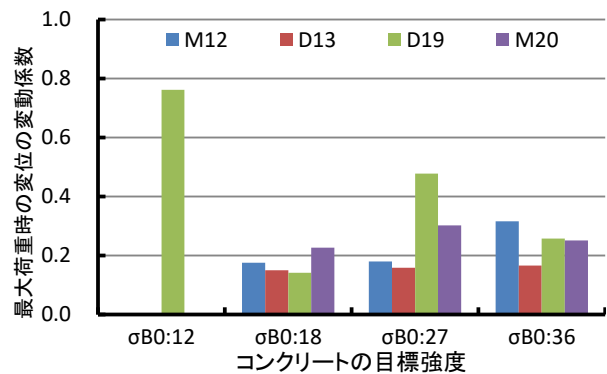


図 2.2.2.2-8 最大荷重時の自由端変位の変動係数

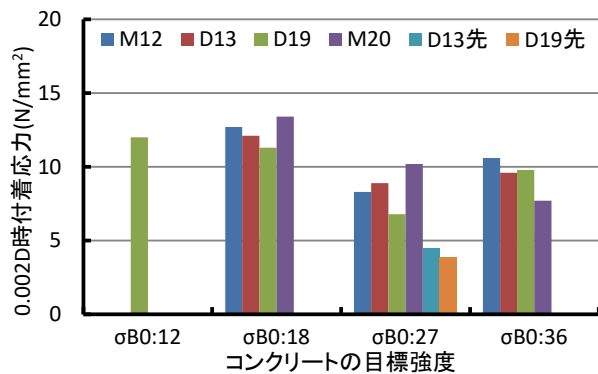


図 2.2.2.2-9 自由端変位 0.002D 時の応力

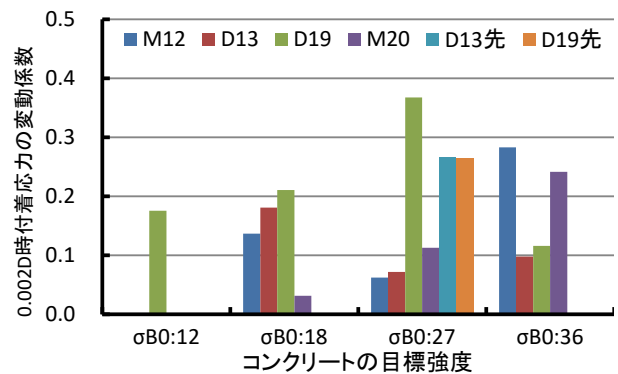


図 2.2.2.2-10 自由端変位 0.002D 時の応力の変動係数

破壊界面の違いが強度および変形に及ぼす影響を確認するため、各水準の試験結果を破壊界面によって3種類に区分し、アンカー筋種類ごとにそれぞれの付着強度の平均および最大荷重時の変位の平均を求めたものを図 2.2.2.2-11～図 2.2.2.2-18 に示す。

破壊界面の違いについては、明瞭な傾向は確認されず、破壊界面が異なっても付着強度および最大荷重時の変位が大きく異なることはなかった。破壊界面およびコンクリート強度との関係については、後述する。

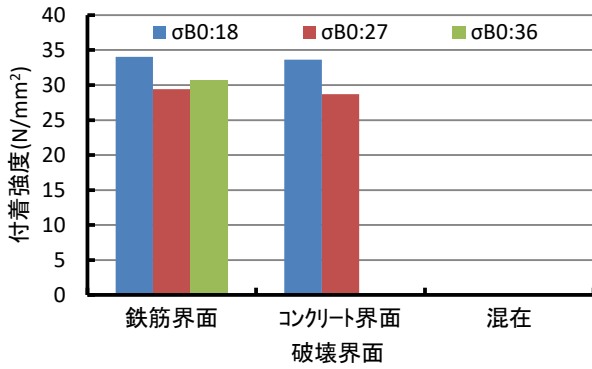


図 2.2.2.2-11 破壊界面ごとの付着強度 (M12)

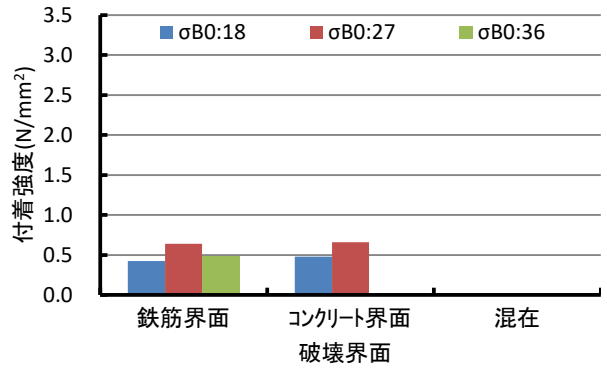


図 2.2.2.2-12 破壊界面ごとの最大荷重時の変位 (M12)

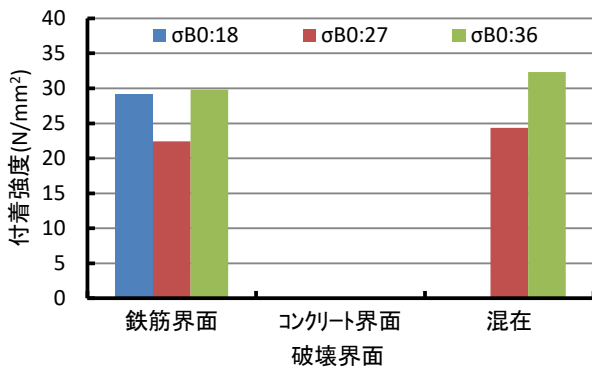


図 2.2.2.2-13 破壊界面ごとの付着強度 (D13)

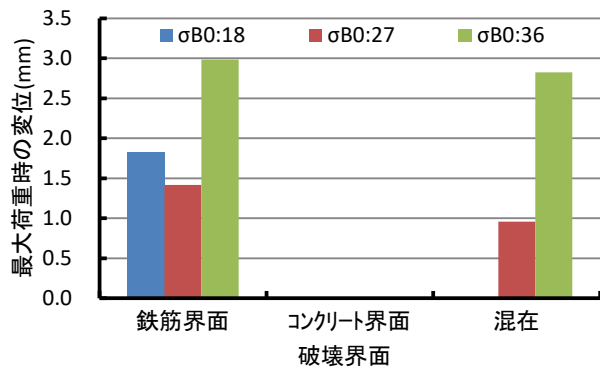


図 2.2.2.2-14 破壊界面ごとの最大荷重時の変位 (D13)

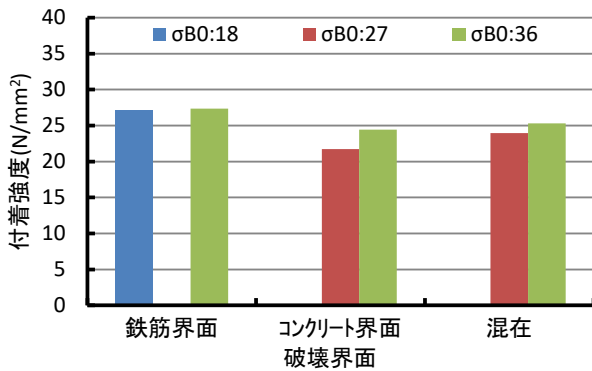


図 2.2.2.2-15 破壊界面ごとの付着強度 (D19)

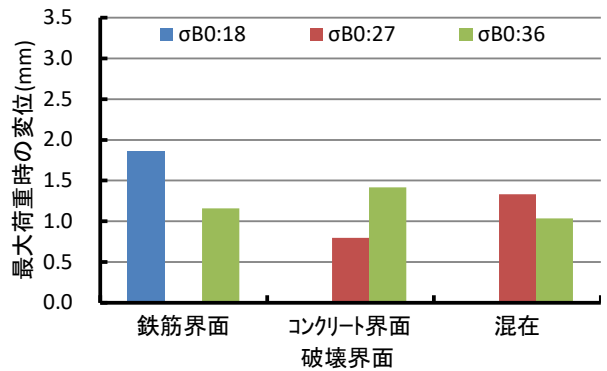


図 2.2.2.2-16 破壊界面ごとの最大荷重時の変位 (D19)

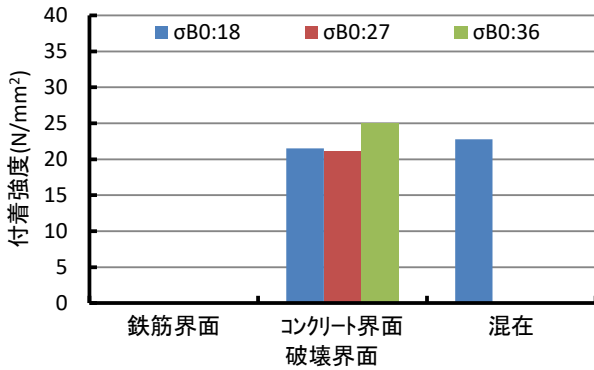


図 2.2.2.2-17 破壊界面ごとの付着強度 (M20)

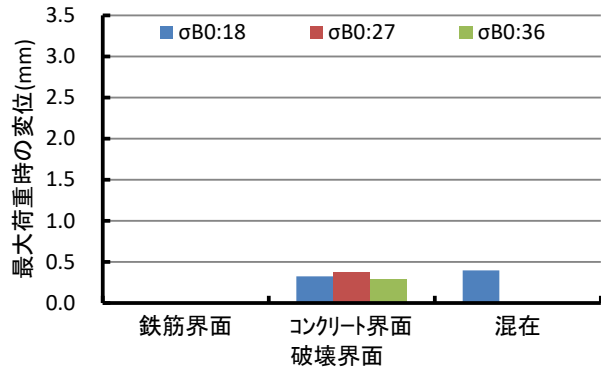


図 2.2.2.2-18 破壊界面ごとの最大荷重時の変位 (M20)

D13 および D19 の先付けアンカーとあと施工アンカーの付着強度 (τ_1 および τ_2) および最大荷重時の変位と自由端変位 0.002D 時の付着応力の比較を図 2.2.2.2.19 および図 2.2.2.2.20 に示す。先付けアンカーは座掘りをせず埋込み長さは $7d_a$ としている。

D13 および D19 のいずれについても、鉄筋径を基準とした場合の付着強度は約 2.4 倍、穿孔径を基準とした場合の付着強度でも約 1.9 倍となり、同一のコンクリート、同一の鉄筋であれば、あと施工アンカーの付着強度が 2 倍程度に大きくなることが示された。これらは既往の基準整備促進事業で得られた結果と同様である。また、変動係数は、いずれも 5%~10% の範囲で同程度の大きさにあり、個々の試験体のばらつきも同程度であることが示された。最大荷重時の変位は、0.8~1.5mm の範囲で D13 についてはあと施工アンカーが大きく、D19 では同程度である。

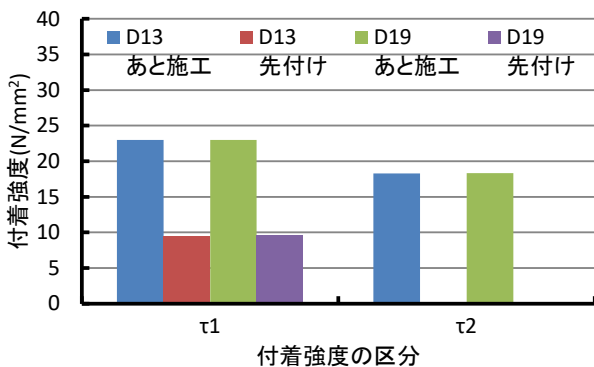


図 2.2.2.2-19 先付け鉄筋とあと施工アンカーの付着強度

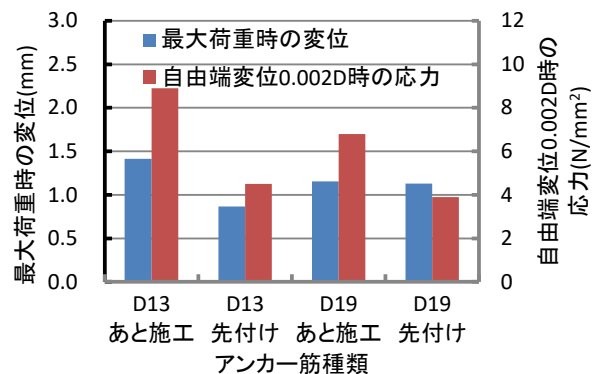


図 2.2.2.2-20 先付け鉄筋とあと施工アンカーの最大荷重時の変位および自由端変位 0.002D 時の応力

2-2-2-2-3 コンクリート強度の影響

付着強度に及ぼすコンクリート強度の影響として、コンクリート強度（実強度）と付着強度の関係を図 2.2.2.2-21～図 2.2.2.2-24 に示す。付着強度は、(2.2.2.2-1)式～(2.2.2.2-4)式の4つの付着強度について示す。また、図 2.2.2.2-25～図 2.2.2.2-28 に、鉄筋の破壊界面ごと分類した場合の、アンカー筋種類ごとのコンクリート強度（目標強度 σ_{B0} : 27N/mm²と 36N/mm²）と付着強度の関係を示す。ここでのコンクリート強度とは、付着試験と同材齢で実施した現場封かん養生のコンクリート供試体の圧縮強度試験結果である。

(2.2.2.2-3)式および(2.2.2.2-4)式に示すように、あと施工アンカーの設計時の許容付着応力度は、コンクリート強度を 21N/mm²として、その平方根に比例すると仮定して基準化されることが一般的である。図 2.2.2.2-21 や図 2.2.2.2-22 に示すように、コンクリート強度が大きくなると付着強度は大きくなる傾向にあるが、図 2.2.2.2-23 や図 2.2.2.2-24 のように、コンクリート強度 21N/mm²で基準化すると、コンクリート強度が大きくなると付着強度は小さくなり、設計における耐力が危険側となる可能性がある。

また、これらの関係が破壊界面が異なることによって影響を受けるかどうかについて確認した結果が図 2.2.2.2-25～図 2.2.2.2-28 である。破壊界面は、鉄筋と接着剤の界面、コンクリートと接着剤の界面およびこれらが混在したものの3つの形態に分類した。同一のアンカー筋で、3種類の破壊形態がまんべんなく生じることがないため、図にはすべての破壊界面がプロットできるわけではないが、いずれの破壊界面でも傾向は同様であり、コンクリート強度が大きくなると付着強度が大きくなる。また、その程度はコンクリート強度 21N/mm²で基準化した場合よりも小さくなる。D13 の場合は、21N/mm²で基準化したことによって強度の影響がキャンセルされている。また、コンクリート強度の影響は、破壊界面がコンクリートと接着剤の界面の場合に大きく受けることが予想されたが、コンクリート界面と鉄筋界面とではほぼ同様の傾向を示した。

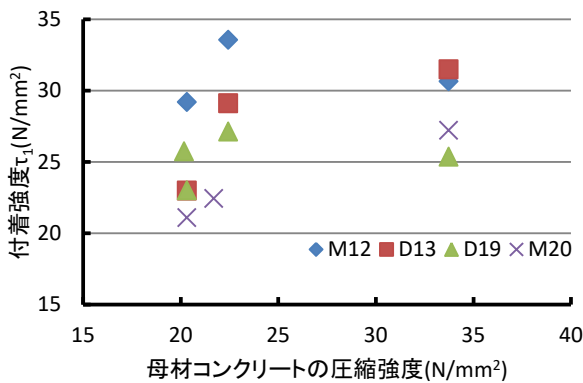


図 2.2.2.2-21 コンクリート強度と付着強度 (τ_1) の関係

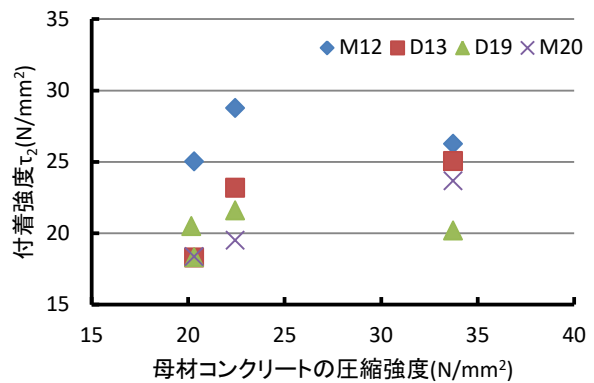


図 2.2.2.2-22 コンクリート強度と付着強度 (τ_2) の関係

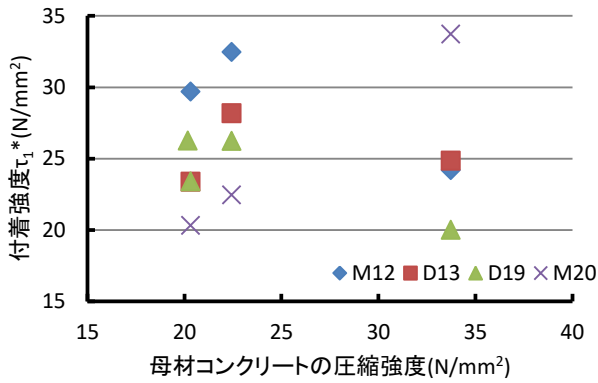


図 2.2.2.2-23 コンクリート強度と付着強度 (τ_1^*) の関係

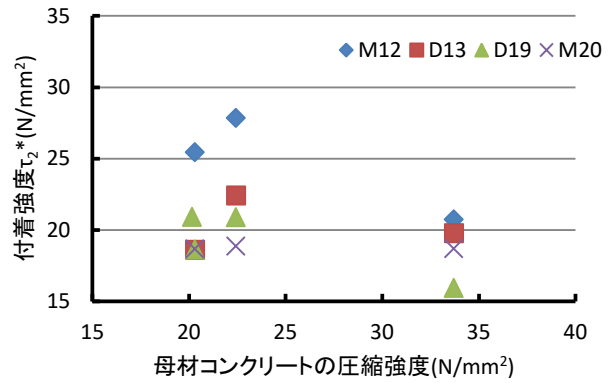


図 2.2.2.2-24 コンクリート強度と付着強度 (τ_2^*) の関係

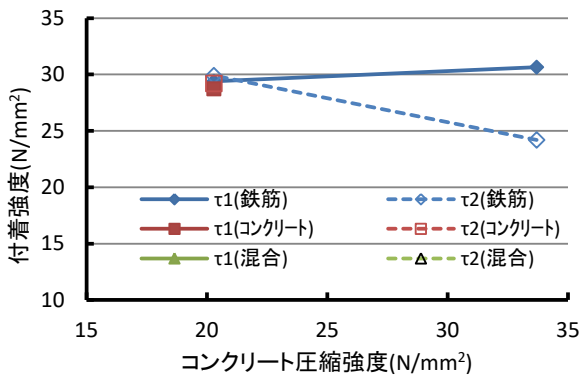


図 2.2.2.2-25 破壊界面ごとのコンクリート強度と付着強度の関係 (M12)

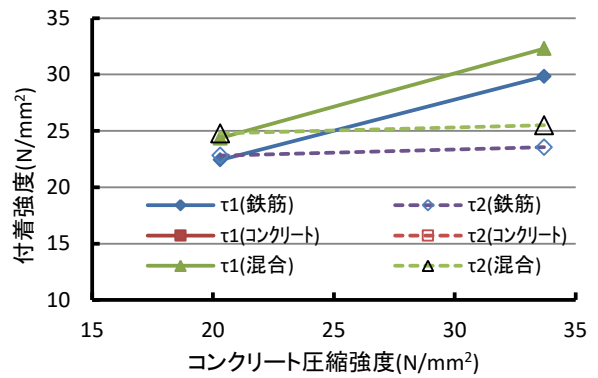


図 2.2.2.2-26 破壊界面ごとのコンクリート強度と付着強度の関係 (D13)

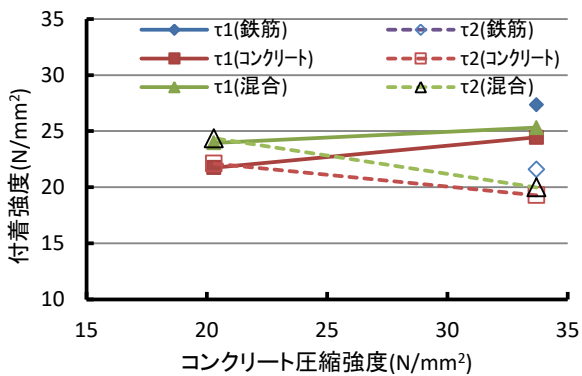


図 2.2.2.2-27 破壊界面ごとのコンクリート強度と付着強度の関係 (D19)

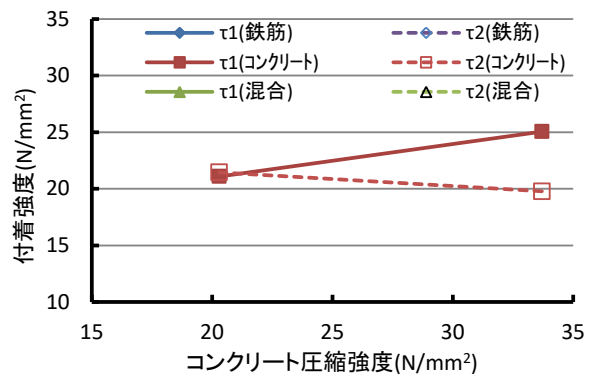


図 2.2.2.2-28 破壊界面ごとのコンクリート強度と付着強度の関係 (M20)

2-2-2-2-4 拘束条件の影響

載荷板の拘束径の影響については、本実験では試験体の載荷面側に座掘りを行ったことにより、座掘りの径の影響として確認した。図 2.2.2.2-29 に座掘りの径と付着強度およびその標準偏差について示す。また、座掘りの有無やその深さの影響として、埋込み長さを $5da$ で一定として、座掘りがない場合、載荷面側に $2da$ の座掘りがある場合、両側に $1da$ ずつの座掘りがある場合を比較したのが図 2.2.2.2-30 である。

座掘りの径については、今回実験全体の標準とした穿孔径の 1.5 倍が最も付着強度が大きく、また変動係数は小さくなった。ACI 指針や ETAG 認証基準では、拘束径は穿孔径の 1.5~2.0 倍と規定されているが、本実験の結果からは穿孔径の 1.5 倍が最も安定した結果が得られることが示された。また、座掘りの有無やその深さの影響については、本実験の範囲では、片面 $2da$ の座掘りとした場合が最も付着強度が大きく、かつ変動係数も小さい範囲で試験が実施できていることから、接着剤本来の付着性能を評価できていると思われる。すなわち、載荷側端面を $2da$ 程度の座掘りとするすることで、試験体の両端面部分の施工の不確実さなどの影響を受けにくいことが想定され、試験条件としては片面 $2da$ の座掘りを設けることが適切であることが示された。また、試験体製作過程における穿孔作業の容易さの観点からも、片面 $2da$ の座掘りによる試験体製作は適当である。

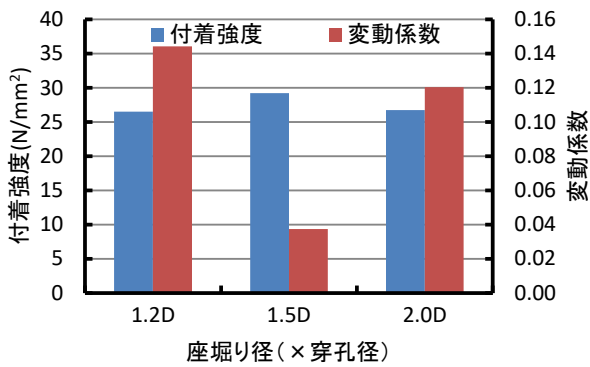


図 2.2.2.2-29 座掘りの径の影響

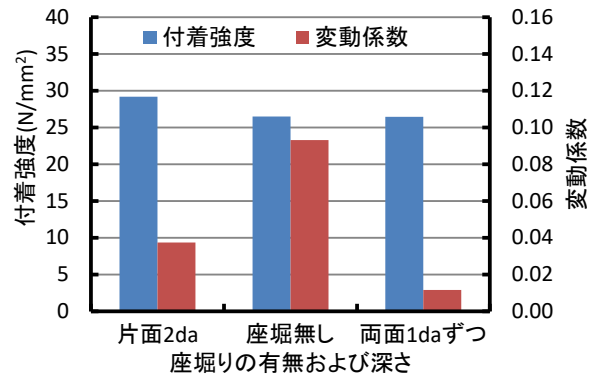


図 2.2.2.2-30 座掘りの有無および深さの影響

2-2-2-2-5 埋込み長さの影響

あと施工アンカーの付着耐力は、(2.2.2.1-1)式に示すように、埋込み長さに比例することが前提となっている。本実験では、埋込み長さと付着耐力の線形関係について確認し、埋込み長さを長くした場合に鉄筋降伏が生じることを確認した。図 2.2.2.2-31 に埋込み長さを変えた場合の付着強度と最大荷重時の変位を示す。

埋込み長さは、M12 のアンカー筋の呼び径に対して、5da (60mm)、7da (84mm)、10da (120mm) としているが、仮に付着強度を $\tau=30\text{N/mm}^2$ と仮定した場合には、付着耐力（終局荷重）は、5da が約 67.8kN、7da が約 96.0kN、10da が約 135.6kN となる。この時のアンカー筋が負担する引張応力は、それぞれ、約 600N/mm^2 、約 850N/mm^2 、約 1200N/mm^2 となる。本実験では 7da および 10da の試験体のアンカー筋に使用した鋼材として引張強さ 1000N/mm^2 以上の鋼材を使用したため 7da までは鋼材破断は生じていないが、一般的な鋼材では 7da もしくは 10da の埋込み長さでは、鋼材破断が生じる。したがって、付着強度を評価するには 5da 程度までが上限であると言える。また、5da と 7da では、7da の付着強度 (τ_1) が若干大きくなっているが、これは母材コンクリート強度が大きくなったことにも起因しており、コンクリート強度で基準化した付着強度 (τ_1^*) では小さくなっている。前述のようにコンクリート強度 21N/mm^2 の平方根で基準化すると付着強度は若干小さくなることを考慮すると、5da と 7da ではほぼ同じ強度が得られていると考えられる。また最大荷重時の変位の違いも 0.1mm 程度であり、ばらつきの大きさを考慮すると大差のない結果となっている。

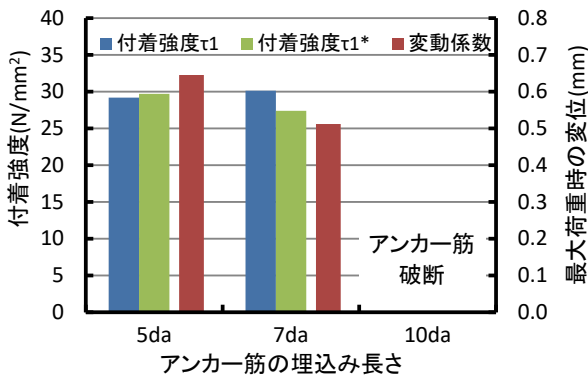


図 2.2.2.2-31 埋込み長さと付着耐力の関係

2-2-2-2-6 試験時の温度の影響

試験時の温度との関係について、図 2.2.2.2-32 に付着強度、図 2.2.2.2-33 に最大荷重時の変位、図 2.2.2.2-34 に自由端変位 0.002D 時の付着応力を示す。また、温度を変えた条件下でコンクリートの圧縮強度試験を行った結果について表 2.2.2.2-3 に示す。破壊界面についての分析として、図 2.2.2.2-35～図 2.2.2.2-40 に接着剤の種類別に破壊界面ごとに区分した付着強度および最大荷重時の変位を示す。図中には、破壊界面を区分した場合の該当するアンカー筋の本数を示している。

屋外環境において、あと施工アンカーに作用する温度は、夏季で日射が当たるような条件では、コンクリートの表層部分では 60℃程度まで上昇する。また、表面から 100mm 程度の内部でも 40℃以上まで上昇する。このようなことから、40℃および 60℃における付着強度および変形特性を確認している。

実験結果から、エポキシ系については、試験時の温度が高くなると強度は徐々に低下し、60℃において変形量が急激に大きく初期剛性は小さくなることが確認される。エポキシアクリレート系については温度が高くなると若干強度が小さくなる傾向はあるもののエポキシ系ほど顕著ではなく変形特性にも大差はない。セメント系については 40℃までは上昇しているが、60℃では逆に低下する傾向にある。変形量については大きな違いは見られない。エポキシ樹脂は、樹脂によって異なるもののガラス転移点が 60℃近辺にあることが多く、60℃程度に温度が上昇すると強度や変形特性が大きく変化することが予想される。セメント系については、60℃程度より高くなると、付着力を確保するために接着剤を膨張させているエトリンタイトの分解を生じ、それによって強度が若干低下した可能性がある。いずれにしても、温度域が 60℃程度になると樹脂によってはその特性が変化する可能性があることから、使用環境によってはその影響を評価する必要があるものと思われる。また、長期的な使用を考えた場合には、温度履歴を受けた後の強度や変形特性についても評価する必要があることが示唆される。ただし、今回の試験では、コンクリート強度も温度の影響を受けており、温度が高くなるとコンクリート強度およびヤング率が低下する傾向が確認された。温度の影響の厳密な評価についてはさらに詳細な検討を行う必要がある。

接着剤ごとの温度による破壊界面、付着強度および最大荷重時の変位の違いについて、セメント系についてはいずれについても明瞭な傾向を示さない。エポキシ系については、温度が高くなると破壊界面がアンカー筋からコンクリートに変わる傾向が見られるが、付着強度および最大荷重時の変位については大きな違いはない。エポキシアクリレート系については、温度にかかわらずほぼすべてがアンカー筋と接着剤の界面での破壊となっている。

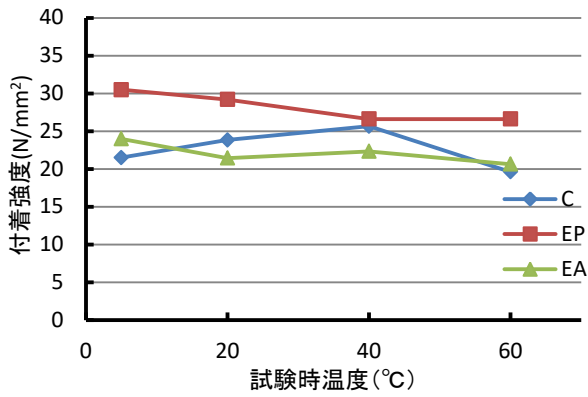


図 2.2.2.2-32 試験時の温度と付着強度の関係

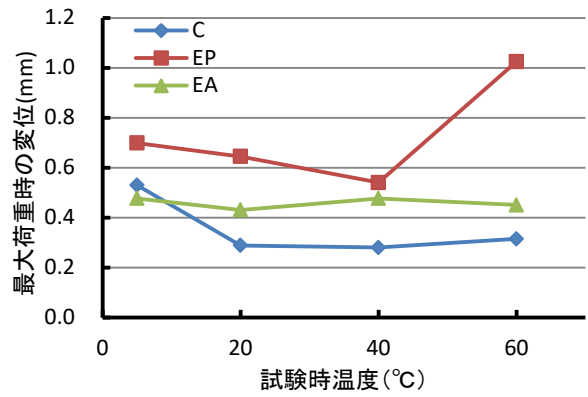


図 2.2.2.2-33 試験時の温度と最大荷重時の変位の関係

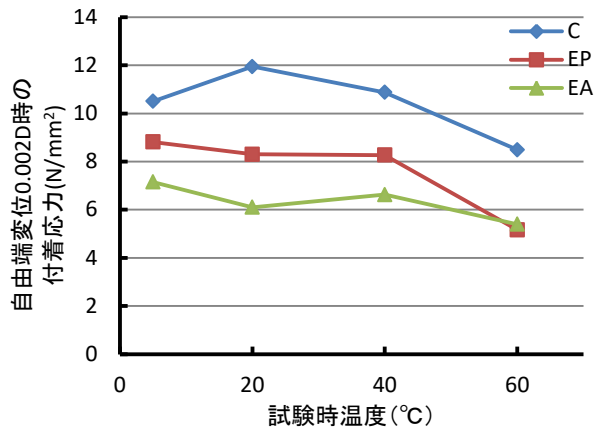


図 2.2.2.2-34 試験時の温度と自由端変位 0.002D 時の付着応力の関係

表 2.2.2.2-3 異なる温度条件下でのコンクリート強度試験結果

試験体温度	試験日	材齢	目標強度 σ_{B0} (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
5°C	2月20日	88日	27.0	27.8	19.5
20°C				25.4	20.5
40°C				24.3	19.0
60°C				21.9	17.9

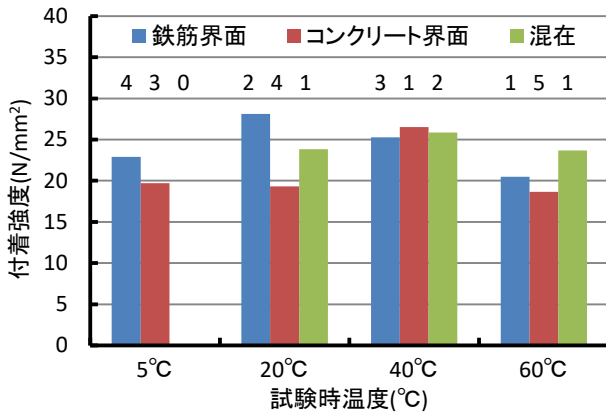


図 2.2.2.2-35 試験時の温度別の破壊界面ごとの付着強度 (セメント系)

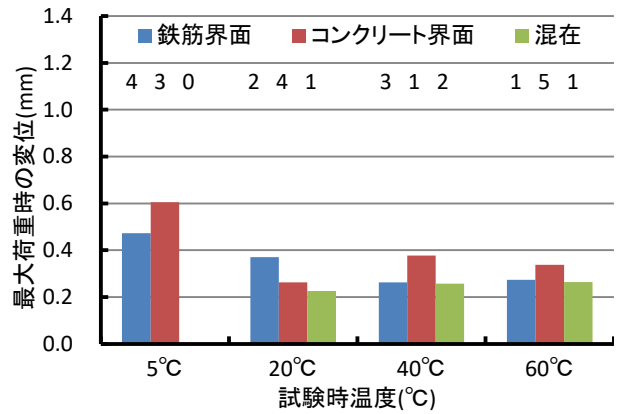


図 2.2.2.2-36 試験時の温度別の破壊界面ごとの最大荷重時の変位 (セメント系)

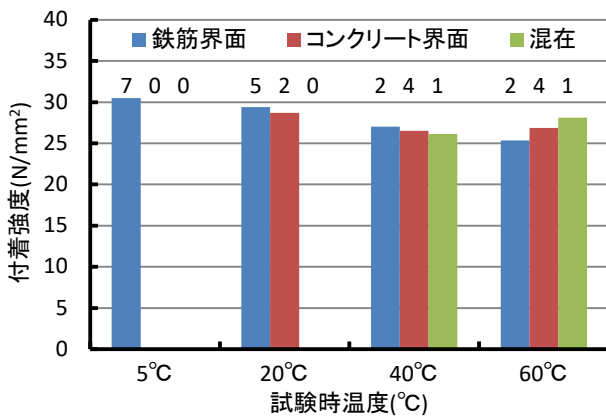


図 2.2.2.2-37 試験時の温度別の破壊界面ごとの付着強度 (エポキシ系)

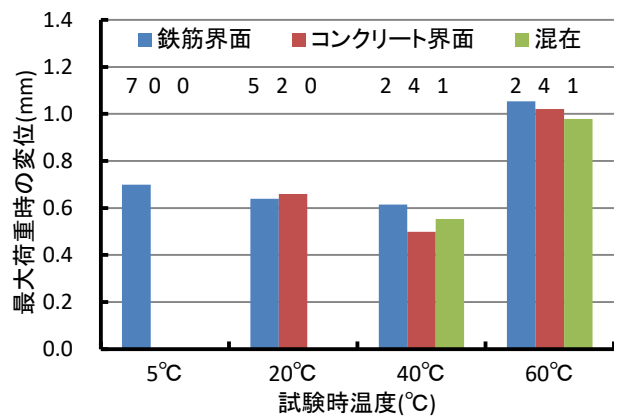


図 2.2.2.2-38 試験時の温度別の破壊界面ごとの最大荷重時の変位 (エポキシ系)

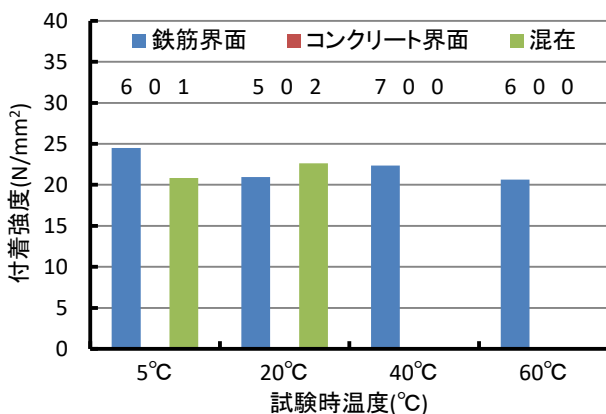


図 2.2.2.2-39 試験時の温度別の破壊界面ごとの付着強度 (エポキシアクリレート系)

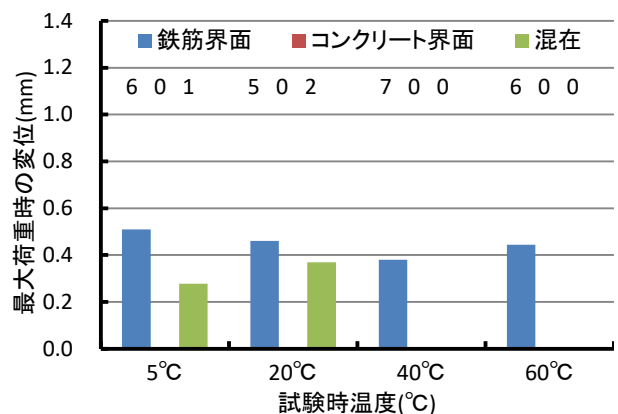


図 2.2.2.2-40 試験時の温度別の破壊界面ごとの最大荷重時の変位 (エポキシアクリレート系)

2-2-2-7 試験結果のばらつきに関する分析

試験結果のばらつきについて、ばらつきの範囲がどの程度か、また、正規分布と仮定して取り扱うことができるかどうかを確認するため、試験結果のばらつきに関する分析を行った。ばらつきの評価の対象とした水準は、試験条件の要因を排除するため、アンカー筋の種類とコンクリートの目標強度の組み合わせとなる水準（水準 No.1～No.13）とした。

(1)ばらつきの大きさ

本試験の試験結果（表 2.2.2.2-1 および表 2.2.2.2-2）から、上記 13 水準について付着強度の変動係数は、3.7%～8.1%の範囲（平均 5.8%）にあり、試験実施について一定の精度が確保されていることが確認される。一方、最大荷重時の変位の変動係数は、14.1%～76.2%の範囲（平均 27.5%）にあり、ばらつきは小さくない。これは、個々の試験体のばらつきが大きいことや最大荷重付近で変位が増大する場合があることなどから相対的にばらつきが大きくなったものと考えられる。また、自由端変位 0.002D 時の変位の変動係数は、3.1%～36.8%（平均 16.1%）の範囲にあり、水準によっては大きい値となる場合もある。初期の剛性については、自由端変位の変動に対して応力の変動が相対的に大きいことから、試験体ごとのばらつきも大きくなると推測される。

付着強度は性能評価に直接関わる値であり、試験結果の信頼性も求められることから、本試験の結果も踏まえると、個々の水準内の変動係数は 10%もしくは 15%以内程度である必要があると思われる。一方、最大荷重時の変位および自由端変位 0.002D 時の付着応力については、長期の変形性状や初期剛性の評価の目安として平均値で表すことで試験水準内のおおよその性状を把握できると思われる。

(2)正規性の検証

試験結果の統計的な処理を行う上では、ばらつきが正規分布であると仮定してよいかどうかについて検証（正規性の検証）を行う必要がある。そこで、上記 13 水準の試験結果について、ばらつきの分布について確認した。試験結果は、試験手順に問題のなかったと思われる 85 体の個々の試験結果を各水準の平均値で除すことによって基準化した値（ $\tau_i/\tau_{ave.}$ ）とした。

図 2.2.2.2-41 に基準化した付着強度のヒストグラム、図 2.2.2.2-42 および図 2.2.2.2-43 に累積頻度と下限付近の拡大図、図 2.2.2.2-44 に正規確率プロットを示す。ヒストグラムはアンカー筋種類ごとと 13 水準の総計、累積頻度と正規確率プロットは 13 水準の総計について示す。

ヒストグラムの分布形状および正規確率プロットの直線性から正規分布と仮定して問題ないと思われる。また正規性の検証について統計的に判断するシャピローウィルクの仮説検定²⁻¹¹⁾を行った結果も正規母集団からのサンプリングであることが棄却されない結果となった。また、累積頻度から片側検定で 95%信頼下限となる値は基準化した付着強度（ $\tau_i/\tau_{ave.}$ ）が約 0.88、両側検定の場合に約 0.86 であり、個々の試験結果がこれらの範囲を下回る場合には、試験結果の除外の可否を検討する必要があると思われる。

今回の結果について、グラブス・スミルノフの棄却検定²⁻¹¹⁾を行った結果は、平均値から最も外れた値であった $\tau_i/\tau_{ave.}=0.74$ の試験結果について異常値として棄却された。なお、本節の実験結果は、ここでの外れ値を除却して再計算している。このように試験結果が大きく外れる場合には、評価における棄却検定についても考慮する必要があると思われる。

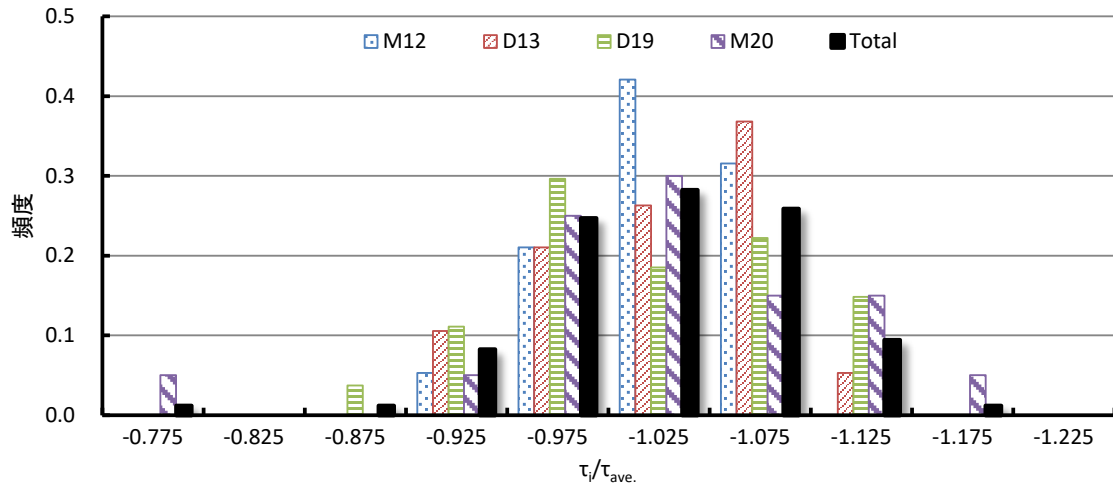


図 2.2.2.2-41 基準化した付着強度のヒストグラム

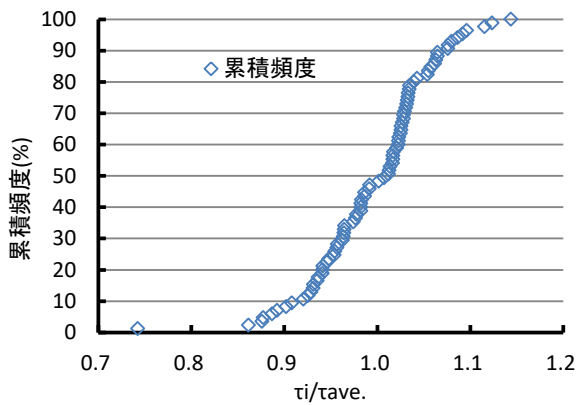


図 2.2.2.2-42 基準化した付着強度の累積頻度

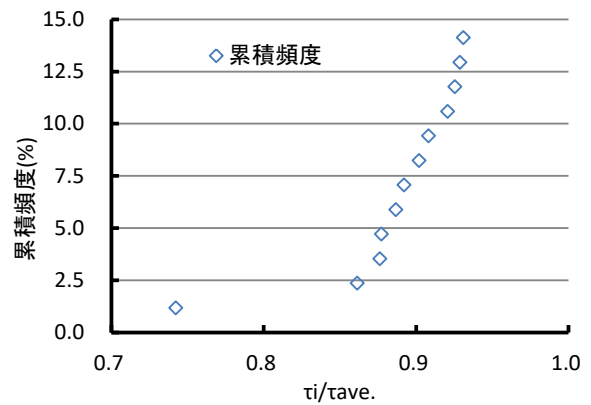


図 2.2.2.2-43 基準化した付着強度の累積頻度 (拡大図)

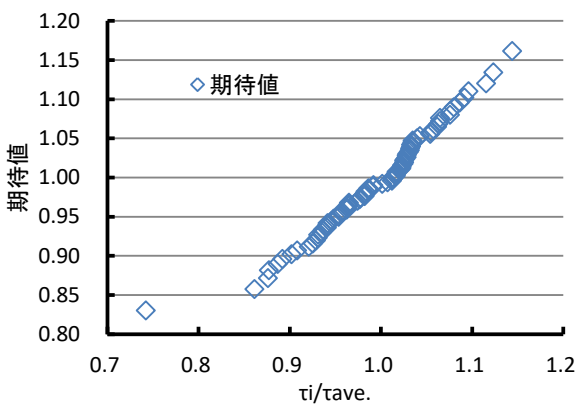


図 2.2.2.2-44 基準化した付着強度の正規確率プロット

(3) 破壊形態とばらつきの関係

あと施工アンカーの性能として、付着強度を大きくすることとともに、そのばらつきを低減させ安定した強度が得られることも重要である。最近の接着剤は接着力が大きくなっていると言われ、従来のアンカーとは、破壊形態が異なることも指摘される。このような点から、破壊形態（破壊界面）と

付着強度および最大荷重時の変位のばらつきの間に何らかの関連があるかについて確認した。

ばらつきの評価は、アンカー筋を全ねじボルトと異形鉄筋に分け、破壊界面と付着強度の関係で整理したように、鉄筋と接着剤、コンクリートと接着剤の界面およびその混在した破壊形態に分類した。これらの分類した条件ごとに付着強度の平均と標準偏差を求め、付着界面による付着強度および変位の大きさとばらつきを確認した。表 2.2.2.2-4 に付着強度、表 2.2.2.2-5 に最大荷重時の変位についてその結果を示す。

この結果からは、全ねじボルトおよび異形鉄筋のいずれについても、鉄筋界面とコンクリート界面の破壊界面の違いによって付着強度の大きさやそのばらつきが異なるという傾向は確認されなかった。コンクリート強度の局所的なばらつきと鉄筋自体の強度のばらつきの大きさを考慮すると、コンクリート界面の破壊の方がばらつきが大きくなることが予想されたが、特段そのような傾向は見られていない。最大荷重時の変位については、鉄筋界面とコンクリート界面はほぼ同程度であり、混在のものが若干大きな値を示した。混在の試験体はいずれにも分類できなかったものであり、鉄筋の引き抜き時に接着剤を破損した可能性もあることから単純には比較できないものの、変形が大きいところまで耐力を保持したことから、接着剤そのものが破壊に至った可能性もある。

表 2.2.2.2-4 破壊界面ごとの付着強度の平均値および標準偏差

アンカー筋 種別	付着強度 (N/mm ²)								
	鉄筋界面			コンクリート界面			混在		
	本数	平均値	標準偏差	本数	平均値	標準偏差	本数	平均値	標準偏差
全ねじボルト (M12・M20)	15	1.001	0.040	22	0.991	0.051	3	1.016	0.100
異形鉄筋 (D13・D19)	29	0.995	0.058	5	0.953	0.032	13	1.030	0.032

表 2.2.2.2-5 破壊界面ごとの最大荷重時の変位の平均値および標準偏差

アンカー筋 種別	最大荷重時の変位 (mm)								
	鉄筋界面			コンクリート界面			混在		
	本数	平均値	標準偏差	本数	平均値	標準偏差	本数	平均値	標準偏差
全ねじボルト (M12・M20)	15	0.968	0.244	21	0.987	0.239	3	1.152	0.239
異形鉄筋 (D13・D19)	29	1.002	0.372	4	1.013	0.287	12	0.945	0.395

2-2-2-3 長期載荷試験の実施状況

2-2-2-3-1 載荷試験の実施状況

持続荷重に対する変形に対する評価としては、アンカーに継続的に荷重を行いアンカー筋の抜けだし量を確認するクリープ試験によって評価を行う。本検討では、引張クリープ試験によって付着性状のクリープ特性を評価した。

クリープ試験の方法は、ACI 指針^{2.5)} 7.17 Sensitivity of sustained loading at standard and maximum long-term temperature, あるいは ETAG 認証基準^{2.6)} 5.1.2.5 Functioning under sustained loads に規定され、認証においてはその結果をもとに基準強度の低減などが行われているが、日本国内では JCAA 認証基準等でも評価は実施されていない。長期許容応力度を設定するためには、長期的な荷重に対してクリープ破壊を生じないことを確認し、評価する必要がある。クリープ試験は実施に時間を要するため、平成 27 年度は試験体の製作および荷重開始までを実施し、試験結果の評価については次年度以降に検討する。2-2-2 項においては、荷重の状況および荷重直後の試験結果について報告する。

写真 2.2.2.3-1 にクリープ試験に使用した試験治具および試験体の設置状況、写真 2.2.2.3-2 から写真 2.2.2.3-4 に 5℃、20℃、40℃のそれぞれの試験実施状況を示す。

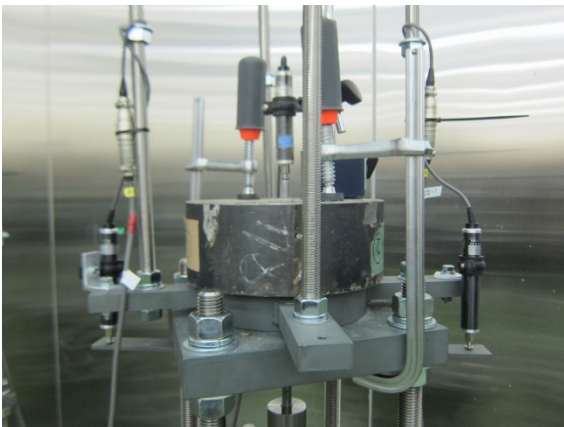


写真 2.2.2.3-1 クリープ試験に用いた治具
および試験体設置状況

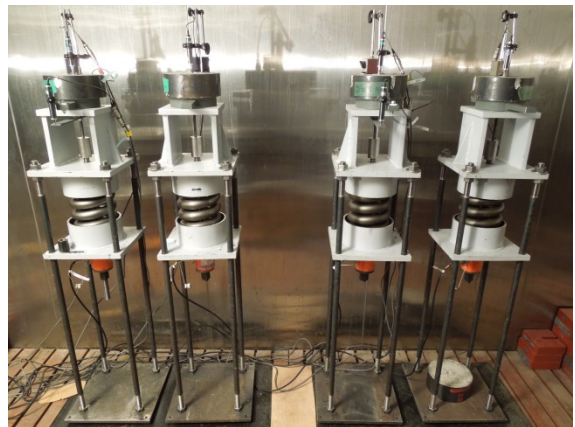


写真 2.2.2.3-2 クリープ試験実施状況 (5℃)



写真 2.2.2.3-3 クリープ試験実施状況 (20℃)

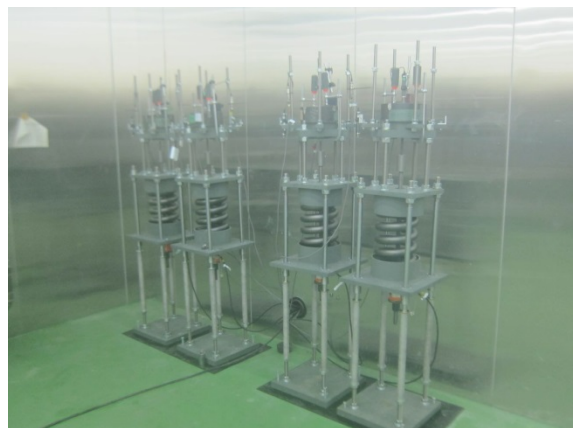


写真 2.2.2.3-4 クリープ試験実施状況 (40℃)

2-2-2-3-2 載荷試験結果

図 2.2.2.3-1 から図 2.2.2.3-6 にエポキシ樹脂系、セメント系の各接着剤の 5℃、20℃、40℃環境下での初期載荷の荷重変位曲線を示す。載荷荷重は、アンカー筋 M12、埋込み長さ 5da (60mm)、付着強度 $\tau=15\text{N/mm}^2$ 相当となる荷重 (33.9kN) を目標とし、安藤らの文献^{2.12)}による載荷方法を参考にし、試験体を設置後 20kN 程度までの載荷と徐荷を 3 回繰り返した後に、載荷中の荷重の低減を考慮して、目標荷重に対して 1kN 程度大きい荷重を載荷した。これによって、短期載荷時の変形量とクリープ載荷時の変形量がほぼ同程度となる。

図 2.2.2.3-7～図 2.2.2.3-18 に載荷開始後 7～10 日間の各水準の自由端変位の経時変化および載荷荷重の経時変化を示す。環境温度によりクリープ変形量が異なっており、特にエポキシ系では温度が高くなると変形量も大きくなる傾向が見られ、特に 40℃環境においてその傾向が顕著である。載荷後 1 週間程度でまた、セメント系とエポキシ系ではエポキシ系の変形量が大きく、短期載荷試験の結果と同様である。載荷荷重は安定しており、クリープによる変形量の大きい 40℃のエポキシ系が若干荷重が低下する傾向が見られる。

クリープ試験結果の評価は、ACI 指針および ETAG 認証基準では、試験期間 70 日～90 日における時間とクリープ変形量の値と(2.2.2.3-1)式にあてはめて最小二乗法によって式中の係数を求め、試験条件ごとの長期のクリープ予測式を得る。そこで得られたクリープ予測式から、想定した経過時間におけるクリープ変形量を推定し、短期載荷試験における最大荷重時の変位と比較して、クリープ変形量が小さければクリープ破壊は生じないとする評価を行っている。

$$S(t) = S(0) + a \cdot t^b \tag{2.2.2.3-1式}$$

ここに、

- $S(t)$: 時間 t における変位量
- $S(0)$: 載荷直後における変位量
- t : クリープ開始後の時間
- a, b : 実験によって求める定数

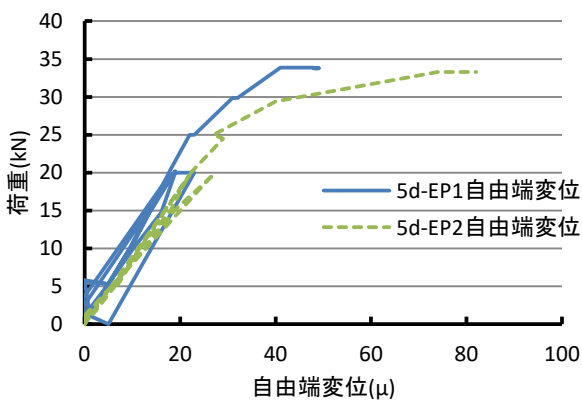


図 2.2.2.3-1 載荷開始時の荷重－変位曲線 (5℃・エポキシ系)

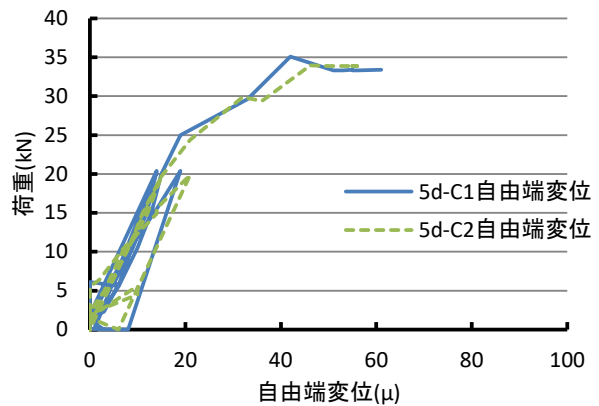


図 2.2.2.3-2 載荷開始時の荷重－変位曲線 (5℃・セメント系)

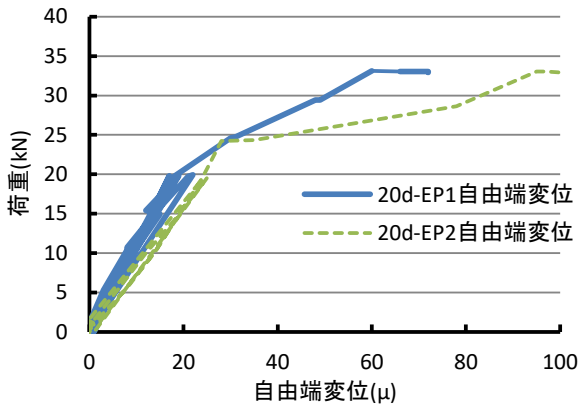


図 2.2.2.3-3 荷重開始時の荷重－変位曲線 (20°C・エポキシ系)

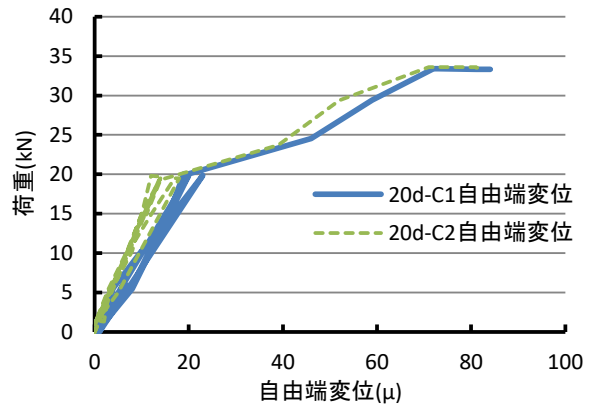


図 2.2.2.3-4 荷重開始時の荷重－変位曲線 (20°C・セメント系)

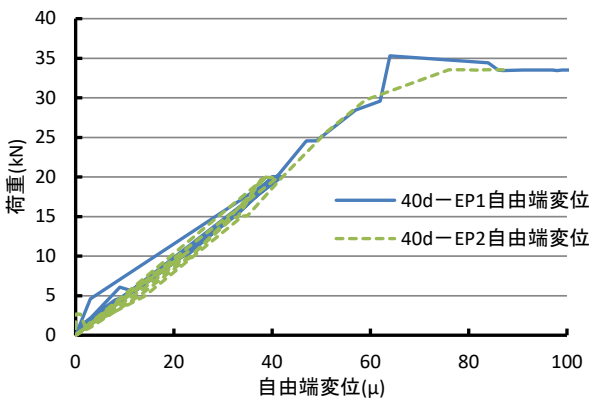


図 2.2.2.3-5 荷重開始時の荷重－変位曲線 (40°C・エポキシ系)

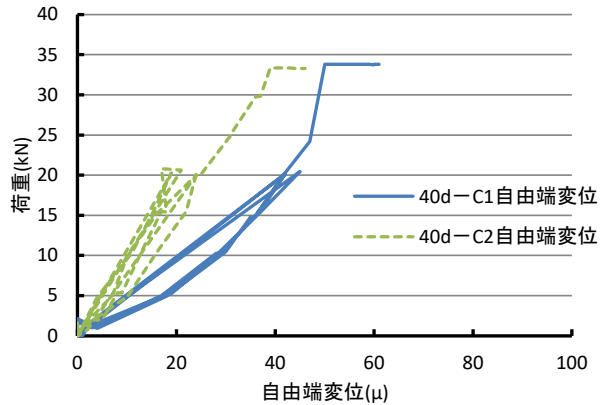


図 2.2.2.3-6 荷重開始時の荷重－変位曲線 (40°C・セメント系)

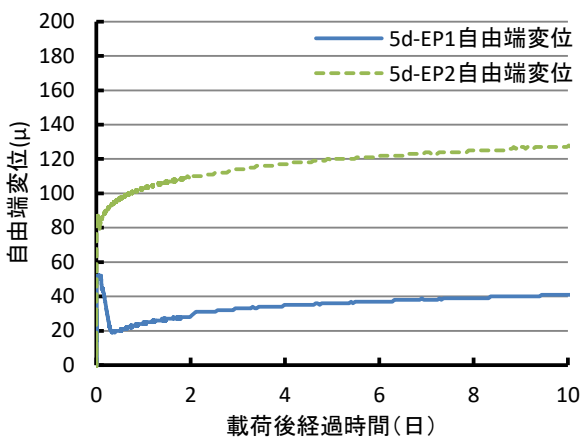


図 2.2.2.3-7 自由端変位の経時変化 (5°C・エポキシ系)

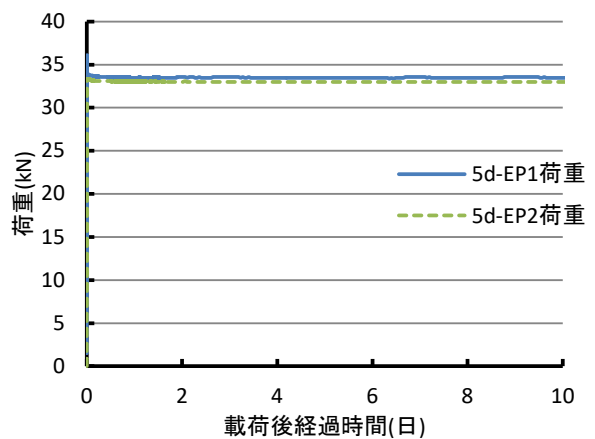


図 2.2.2.3-8 荷重荷重の経時変化 (5°C・エポキシ系)

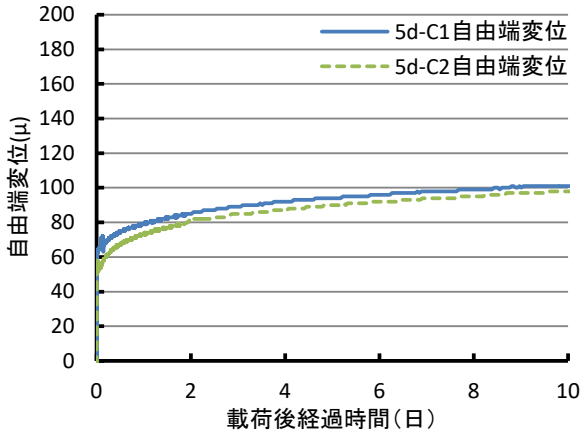


図 2.2.2.3-9 自由端変位の経時変化
(5°C・セメント系)

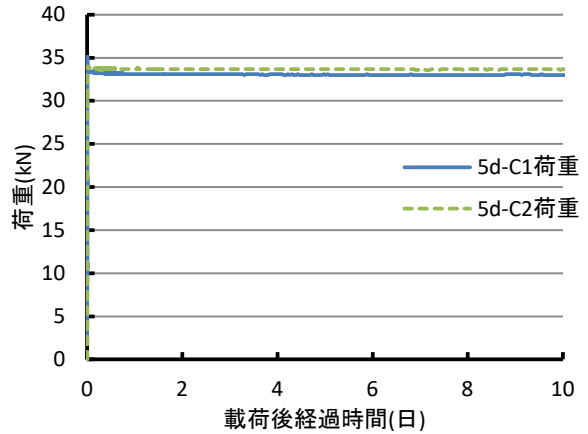


図 2.2.2.3-10 載荷荷重の経時変化
(5°C・セメント系)

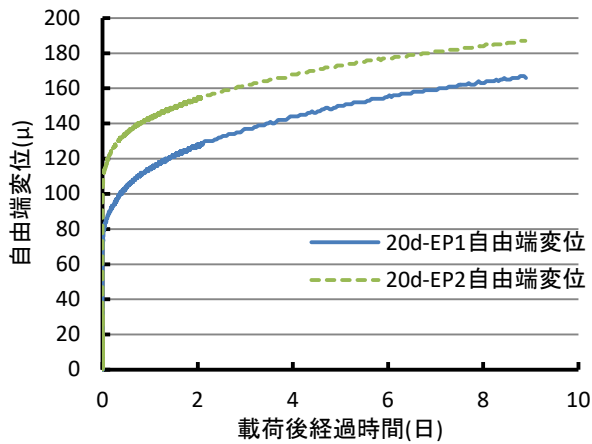


図 2.2.2.3-11 自由端変位の経時変化
(20°C・エポキシ系)

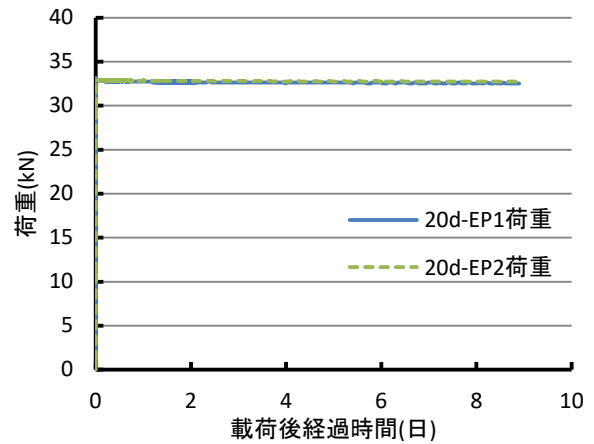


図 2.2.2.3-12 載荷荷重の経時変化
(20°C・エポキシ系)

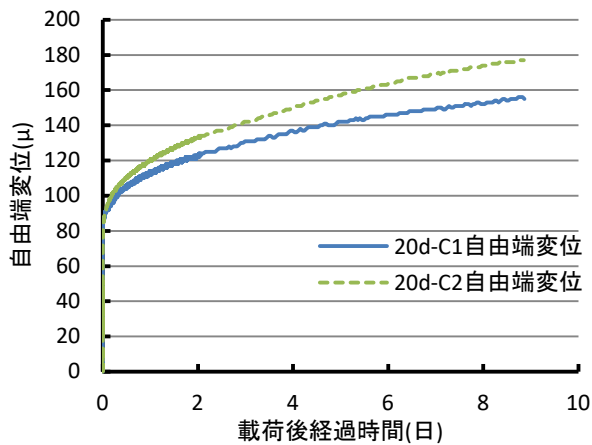


図 2.2.2.3-13 自由端変位の経時変化
(20°C・セメント系)

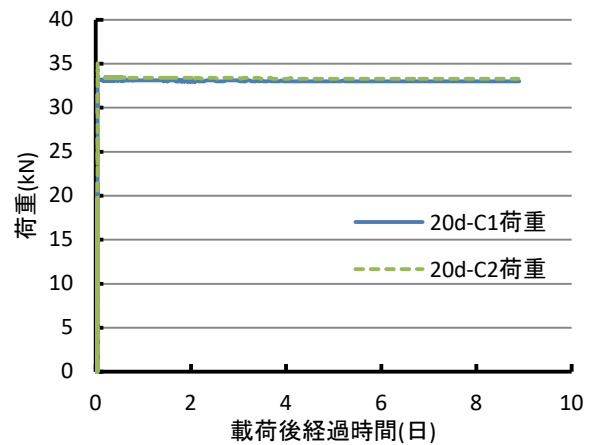


図 2.2.2.3-14 載荷荷重の経時変化
(20°C・セメント系)

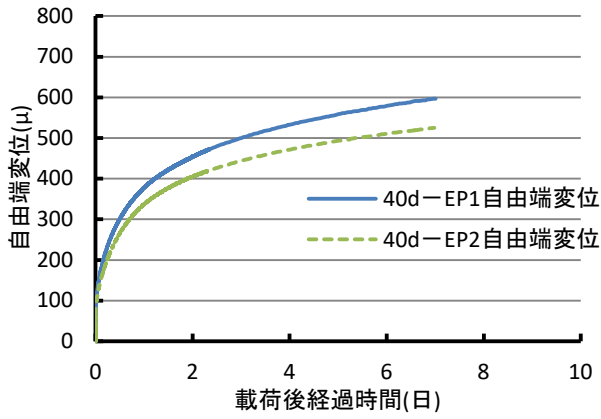


図 2.2.2.3-15 自由端変位の経時変化
(40℃・エポキシ系)

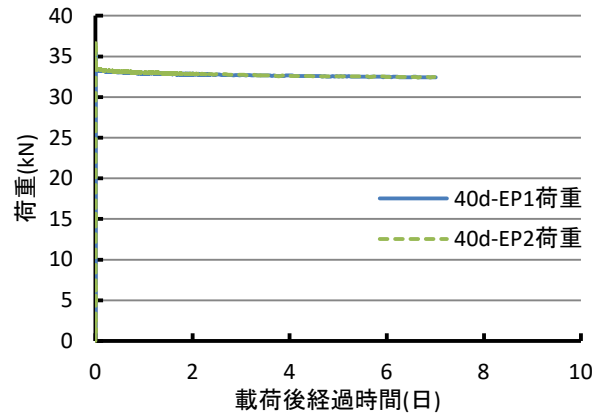


図 2.2.2.3-16 載荷荷重の経時変化
(40℃・エポキシ系)

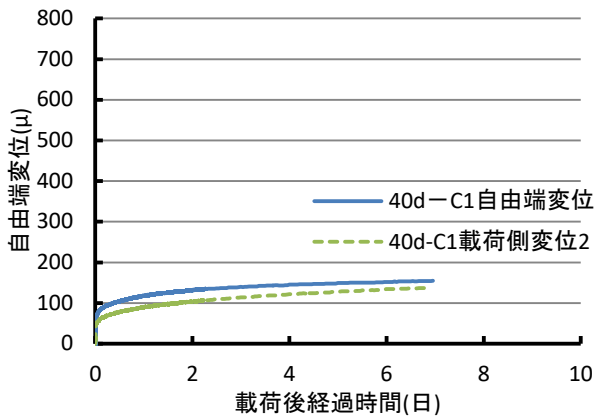


図 2.2.2.3-17 自由端変位の経時変化
(40℃・セメント系)

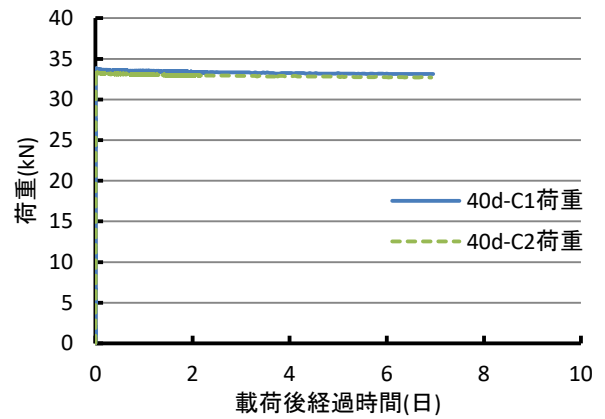


図 2.2.2.3-18 載荷荷重の経時変化
(40℃・セメント系)

2-2-3 せん断応力に対する性能評価試験

2-2-3-1 実験計画

2-2-3-1-1 実験の要因と水準

あと施工アンカーのせん断性能としては、最大耐力およびせん断応力によるアンカーボルトのせん断変形量（せん断剛性）が評価対象となる。既存の評価方法^{2.4), 2.5)}によると、最大耐力はアンカーボルトのせん断降伏およびコンクリート接触部分による支圧破壊で決定され、せん断剛性はアンカーボルトの曲げ剛性とコンクリートのヤング係数で決定されると考えられる。本実験では、アンカーボルトの鋼材が降伏する前のせん断剛性の評価試験方法に関して、その妥当性を確認する。

表 2.2.3.1-1 に実験要因と水準を示す。要因はコンクリート強度を3水準、アンカー筋種類・径を3種類、接着剤種類を3種類とし、これらの要因を組合せることにより、表 2.2.3.1-2 に示す試験体を計画した。なお、埋込み長さはせん断性能が引抜き性状の付着強度不足による影響を受けないように $7d_a$ (d_a : アンカーボルト径) の1水準とした。

表 2.2.3.1-1 実験要因と水準

条件	No.	要因	水準数	水準	備考 (試験目的)
試験体	A	コンクリート強度 (σ_B)	3	18・27・36N/mm ²	ヤング係数の影響
	B	アンカー筋種類・径	4	D13・D16・D19・M20	支圧面積の影響
	C	埋込み長さ	1	$7d_a$	
	D	接着剤種類	3	エポキシ・セメント・エポキシアクリレート	接着剤の付着性能の影響

* 下線は基本とする水準であり、各要因の試験体数はN=5とした。

表 2.2.3.1-2 試験体一覧および実験結果一覧

試験体 No.	F_c (σ_B)	径・鋼種	接着剤	穿孔結果		実験結果				母材 No.
				深さ (mm)	径 (mm)	各変形時のせん断力				
						1mm (kN)	2mm (kN)	4mm (kN)	8mm (kN)	
E-18-D13-1	18 (26.8)	D13 MK785	エポキシ	16.3	89.3	27.5	35.3	39.0	-	1
E-18-D13-2				16.1	91.5	27.1	36.7	38.1	-	
E-18-D13-3				15.8	95.4	27.9	37.1	45.8	-	
E-18-D13-4				16.1	91.3	25.8	34.4	42.6	-	
E-18-D13-5				16.0	92.1	28.0	37.3	44.3	-	
平均値				16.1	91.9	27.3	36.2	42.0	-	
E-27-D13-6	27 (35.7)	D13 MK785	エポキシ	16.1	91.1	28.6	37.5	43.4	-	2
E-27-D13-7				15.8	91.5	26.9	37.9	45.1	-	
E-27-D13-8				15.9	91.5	24.6	34.2	43.0	-	
E-27-D13-9				16.1	91.9	26.5	33.3	41.7	-	
E-27-D13-10				16.0	91.4	28.4	38.5	40.3	-	
平均値				16.0	91.4	27.0	36.3	42.7	-	
E-36-D13-11	36 (43.8)	D13 MK 785	エポキシ	16.0	93.7	25.1	33.3	42.8	-	3
E-36-D13-12				16.0	92.9	23.4	31.5	40.7	-	
E-36-D13-13				16.3	91.1	(17.3) ^{*1}	(24.6) ^{*1}	(37.0) ^{*1}	-	
E-36-D13-14				16.3	92.7	21.8	31.9	42.3	-	
E-36-D13-15				15.8	92.4	26.4	35.8	44.6	-	
平均値				16.1	93.0	24.2	33.1	42.6	-	

E-27-D16-1	27 (35.7)	D16 SHD685	エポキシ	20.2	111.9	38.9	48.6	58.0	-	4
E-27-D16-2				20.0	115.0	32.2	44.1	54.0	-	
E-27-D16-3				20.0	116.6	33.4	44.3	57.2	-	
E-27-D16-4				20.0	116.4	38.1	45.6	55.7	-	
E-27-D16-5				20.1	116.5	34.3	40.4	49.7	-	
平均値				20.0	115.2	35.4	44.6	54.9		
E-27-D19-1	27 (35.7)	D19 SHD685	エポキシ	24.4	135.5	50.4	70.0	99.0	-	5
E-27-D19-2				24.1	135.5	36.0	62.9	87.6	-	
E-27-D19-3				24.2	133.2	47.3	69.2	92.0	-	
E-27-D19-4				24.2	135.6	56.9	79.1	104.2	-	
E-27-D19-5				24.0	133.9	49.1	73.7	96.2	-	
平均値				24.2	134.7	48.0	71.0	95.8		
E-18-M20-B1	18 (26.8)	M20 SCM435 10.9T	エポキシ	23.1	141.4	49.8	76.9	112.0	132.8	1
E-18-M20-B2				23.5	140.9	49.2	75.6	111.8	143.5	
E-18-M20-B3				23.2	142.0	51.8	75.8	110.4	138.9	
E-18-M20-B4				23.0	141.7	46.9	69.9	102.8	127.1	
E-18-M20-B5				22.9	142.1	44.5	63.2	91.8	122.1	
平均値				23.1	141.6	48.4	72.3	105.8	132.9	
E-27-M20-B6	27 (35.7)	M20 SCM435 10.9T	エポキシ	23.1	140.0	44.1	64.7	90.6	130.6	2
E-27-M20-B7				23.2	140.1	47.8	74.8	112.0	141.9	
E-27-M20-B8				21.9	142.5	48.0	70.3	104.0	144.7	
E-27-M20-B9				23.1	141.0	38.5	61.9	100.6	135.5	
E-27-M20-10				22.8	141.0	(28.8) ^{*2}	(52.1) ^{*2}	(81.7) ^{*2}	(119.6) ^{*2}	
平均値				22.8	140.9	44.6	67.9	101.8	138.2	
E-36-M20-11	36 (43.8)	M20 SCM435 10.9T	エポキシ	23.6	144.0	50.6	75.6	113.1	142.5	3
E-36-M20-12				23.0	141.2	48.3	78.1	117.4	147.7	
E-36-M20-13				23.3	142.8	43.9	75.2	118.2	148.0	
E-36-M20-14				23.1	141.0	49.3	71.1	110.7	139.9	
E-36-M20-15				23.1	140.8	48.8	76.5	118.3	146.5	
平均値				23.2	142.0	48.2	75.3	115.5	144.9	
C-27-M20-16	27 (35.7)	M20 SCM435 10.9T	セメント	23.5	139.6	34.3	54.4	88.2	124.6	4
C-27-M20-17				23.8	142.2	49.1	72.8	108.4	137.3	
C-27-M20-18				23.7	141.7	46.6	71.9	112.2	136.6	
C-27-M20-19				24.2	139.9	40.1	64.4	98.1	132.2	
C-27-M20-20				24.0	142.6	48.3	78.1	117.8	140.0	
平均値				23.9	141.2	43.7	68.3	104.9	134.1	
EA-27-M20-21	27 (35.7)	M20 SCM435 10.9T	エポキシ アクリレート	23.2	140.1	33.9	62.1	93.0	133.9	5
EA-27-M20-22				23.2	141.1	34.4	60.3	96.2	130.0	
EA-27-M20-23				22.9	141.7	39.7	49.2	90.4	119.2	
EA-27-M20-24				23.1	141.7	32.3	56.3	83.1	118.5	
EA-27-M20-25				22.9	139.6	46.2	65.1	91.0	129.4	
平均値				23.0	140.9	37.3	58.6	90.7	126.2	

*1: 加力中に加力用鋼板を取付けていた異形筋チャックが外れたため、平均値から除外した。

*2: 加力用鋼板を締付けていたナットの締付けに不備があったため、平均値から除外した。

2-2-3-1-2 実験スケジュール

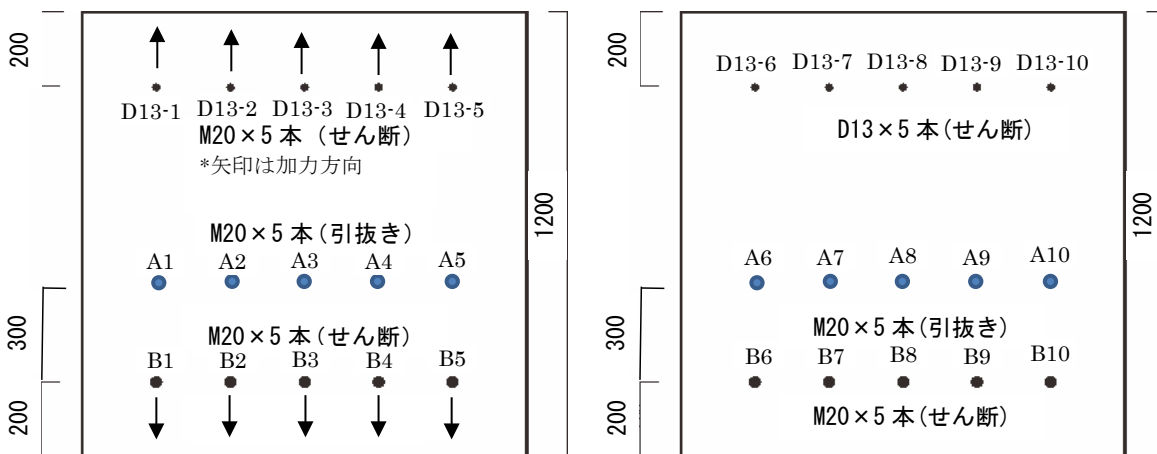
- ・試験体製作：11月上旬～（18日 Fc36 打設，19日 Fc18 打設，27日 Fc27 打設）
 - 1月14, 15, 21日 アンカーボルト施工
- ・加力：1月28日～2月8日（せん断加力）
 - 2月12日～2月16日（引抜き加力）

2-2-3-1-3 試験体

(1)形状および寸法

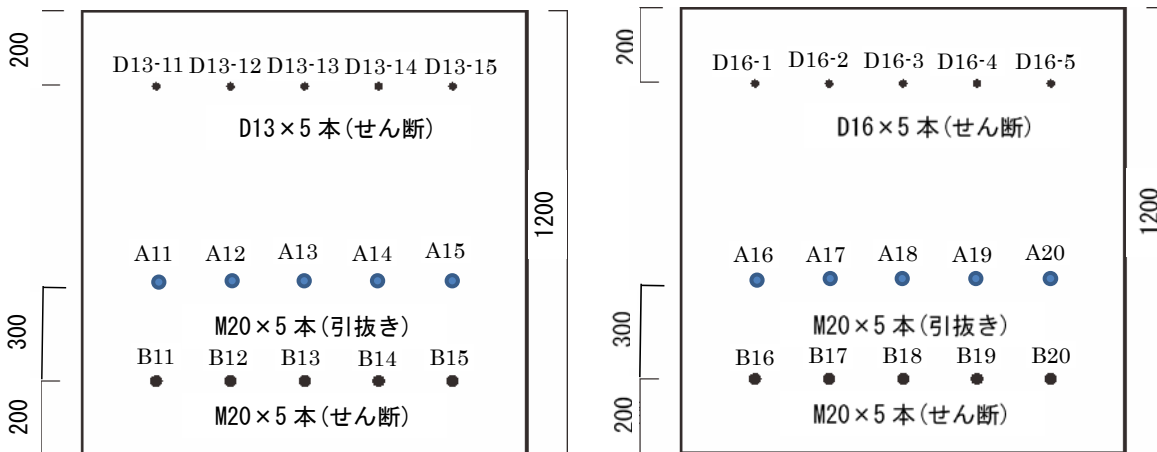
図 2.2.3.1-1 にコンクリート母材の試験体形状・寸法および要因を示す。試験体形状は 1200×1200×300mm のコンクリートブロックであり、総数 5 体である。1 試験体につき 10 本（実験要因ごとに各 5 本）のアンカー筋を注入方式で施工した。

アンカーボルトの設置位置を図 2.2.3.1-1 に示すが、せん断試験用のアンカー筋は、各コンクリート母材に、2 要因のアンカー筋を試験体端部より 200mm の位置に 200 間隔で配置した。また、コンクリート 3 水準、アンカー種類 3 種類の引張試験用アンカーとして 25 本の M20 全ねじボルトを図に示す位置に配置した。アンカー筋の埋込み長さはせん断試験用を $7d_a$ (d_a : アンカー筋直径), 引抜き試験用を $5d_a$ とした。



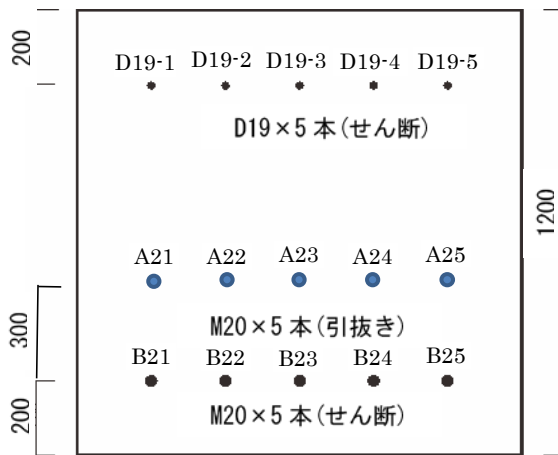
1) Fc18 D13×5, M20×5
エポキシ

2) Fc27 D13×5, M20×5
エポキシ

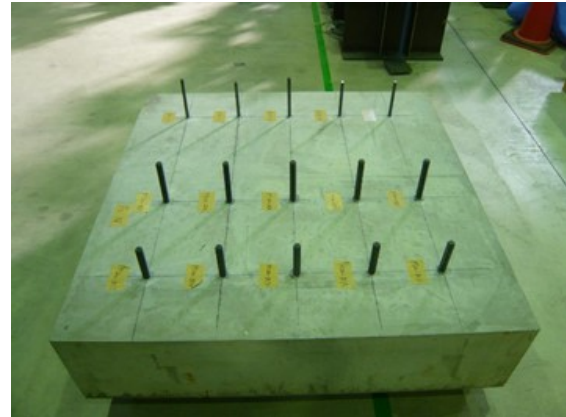


3) Fc36 D13×5, M20×5
エポキシ

4) Fc27 D16×5 (エポキシ)
M20×5 (セメント)



*せん断試験体：埋込み $7d_a$
引抜き試験体：埋込み $5d_a$



5) F_c27 D19×5 (エポキシ)
M20×5 (エポキシアクリレート)

図 2. 2. 3. 1-1 試験体形状および要因

(2) 使用材料

アンカー筋の材料試験結果を表 2. 2. 3. 1-3 に、コンクリートの材料試験結果を表 2. 2. 3. 1-4 に示す。
アンカー筋は、全ねじボルトと異形鉄筋を用いた。全ねじボルトは呼び名が M20 で、JIS G 4053 (機械構造用合金鋼鋼材) に規定される SCM435 を使用した。異形鉄筋は、降伏点強度が 785N/mm^2 相当 (呼び名 D13 の MK785 材), 685N/mm^2 (呼び名 D16, D19 の SHD685 材) 相当の材料を使用した。母材コンクリートは、目標強度 (σ_B) を 18N/mm^2 , 27N/mm^2 , 36N/mm^2 の 3 種類の調合とした。実験期間は 1 月 28 日～2 月 16 日であることから、実験期間中のコンクリートの材料特性は 1 月 30 日と 2 月 15 日の平均値である下記の値とした。

- F_c18 : 圧縮強度 27.8N/mm^2 , 引張強度 2.09N/mm^2 , ヤング係数 28.7kN/mm^2
- F_c27 : 圧縮強度 37.7N/mm^2 , 引張強度 2.34N/mm^2 , ヤング係数 31.5kN/mm^2
- F_c36 : 圧縮強度 45.6N/mm^2 , 引張強度 2.89N/mm^2 , ヤング係数 33.9kN/mm^2

各コンクリート母材において実施した引抜き試験による付着強度を表 2. 2. 3. 1-5 に、図 2. 2. 3. 1-2 に引抜き試験の載荷装置および変位計測状況を示す。なお、全引抜き試験体の引抜き力-拔出し関係、最終破壊状況は付 5-2-2 に示してある。試験体への加力は、油圧ジャッキおよび油圧ポンプを用いて、載荷速度 10kN/min 程度となるように手動で載荷した。荷重の計測はロードセルにより、拔出し量の計測はコンクリート表面からの高さ 80mm の位置において左右 2 箇所計測した。ロードセルおよび変位計はデータロガーに接続し、載荷中は約 3 秒間隔で連続測定を行った。

表 2.2.3.1-3 アンカー筋の材料試験結果

	降伏強度 [N/mm ²]	ヤング係数 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]	破断伸び [%]
D13 (MK785)	805	1.66×10 ⁵	986	10.1
D16 (SHD685)	720	1.82×10 ⁵	946	12.6
D19 (SHD685)	742	1.70×10 ⁵	989	11.6
M20 (SCM435)	951	1.97×10 ⁵	1033	8.2

表 2.2.3.1-4 コンクリートの材料試験結果

① $\sigma_B = 18\text{N/mm}^2$, 打設日 11月19日, 呼び 13.5-18-20N

試験日	11月23日	11月26日	12月17日	1月11日	1月30日	2月15日
材齢	4日	7日	28日	54日	73日	89日
養生	現場封緘	現場封緘	現場封緘	現場封緘	現場封緘	現場封緘
重量 g	3646	3651	3650	3658	3659	3640
圧縮強度 N/mm ²	14.0	16.0	21.0	26.8	26.7	28.9
割裂強度 N/mm ²	—	—	—	2.10	2.09	2.08
ヤング係数 kN/mm ²	—	—	—	29.0	28.3	29.0

② $\sigma_B = 27\text{N/mm}^2$, 打設日 11月27日, 呼び 21-18-20N

試験日	11月30日	12月4日	12月25日	1月11日	1月30日	2月15日
材齢	3日	7日	28日	46日	65日	81日
養生	現場封緘	現場封緘	現場封緘	現場封緘	現場封緘	現場封緘
重量 g	3645	3632	3633	3630	3640	3643
圧縮強度 N/mm ²	17.8	25.5	33.5	35.7	36.5	38.8
割裂強度 N/mm ²	—	—	—	2.36	2.27	2.41
ヤング係数 kN/mm ²	—	—	—	29.4	31.8	31.2

③ $\sigma_B = 36\text{N/mm}^2$, 打設日 11月18日, 呼び 30-18-20N

試験日	11月21日	11月25日	12月16日	1月11日	1月30日	2月15日
材齢	3日	7日	28日	55日	74日	90日
養生	現場封緘	現場封緘	現場封緘	現場封緘	現場封緘	現場封緘
重量 g	3663	3670	3633	3667	3622	3634
圧縮強度 N/mm ²	27.5	32.5	38.3	43.8	45.4	45.8
割裂強度 N/mm ²	—	—	—	2.51	2.98	2.79
ヤング係数 kN/mm ²	—	—	—	31.1	34.3	33.44

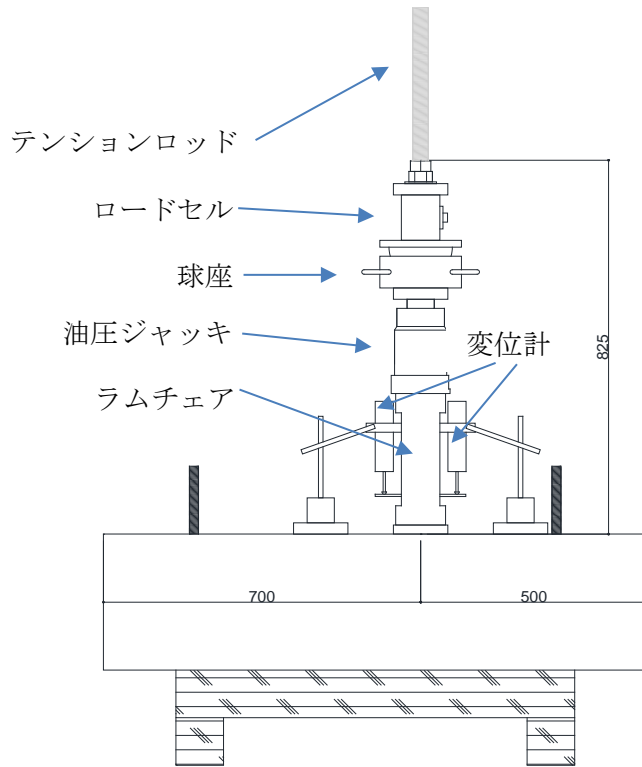


図 2.2.3.1-2 引抜き試験の加力装置および変位計測状況

表 2.2.3.1-5 引抜き試験による付着強度

単位：N/mm²

	1	2	3	4	5	平均値
Fc18, エポキシ	30.0	30.0	29.1	27.1	29.1	29.1
Fc27, エポキシ	38.1	37.4	36.6	38.1	35.9	37.2
Fc36, エポキシ	33.7	35.7	38.1	36.8	39.4	36.7
Fc27, セメント	26.3	27.5	28.5	27.7	30.9	28.2
Fc27, エポキシ・アクリレート	27.9	29.2	30.5	27.2	25.8	28.1

*付着強度は最大引抜き力を周長 ($\phi 20 \cdot \pi$) ×埋込み長さ実測値 ($5d_a$) で除した値である。

(3) 試験体の製作方法

試験体の製作は、引張応力の図 2-2-2-1-3(3)と同様に、下記の施工手順により実施した。

- ① 施工工具、アンカー等の準備と確認
- ② 墨出し
- ③ コンクリート・ドリルの選定
- ④ マーキング (ドリル)
- ⑤ 穿孔 (写真 2.2.3.1-2 参照)
- ⑥ 孔内清掃および孔の深さを確認
 1. 吸じん, 2. 孔深さの確認, 3. ブラッシング, 4. 吸じん
- ⑦ マーキング (アンカー筋)
- ⑧ 樹脂注入 (写真 2.2.3.1-3 参照)
- ⑨ アンカー筋の埋込み (写真 2.2.3.1-4 参照)
- ⑩ 硬化養生

写真 2.2.3.1-1 にコンクリート母材の配筋状況，写真 2.2.3.1-2～4 にアンカー筋の施工状況を示す。

コンクリート母材には鋼製型枠を使用し，D13 鉄筋を 150mm 間隔でメッシュ状に配筋し，上面から 198mm の厚さを確保した。

アンカー筋の施工において，穿孔の精度を確保するための専用治具（写真 2.2.3.1-2 参照），および，アンカー筋の固着の精度を確保するための専用治具（写真 2.2.3.1-4 参照）を用いた。穿孔後に樹脂を注入し，図中に示すような治具を用いてアンカー筋の垂直精度を確保した。

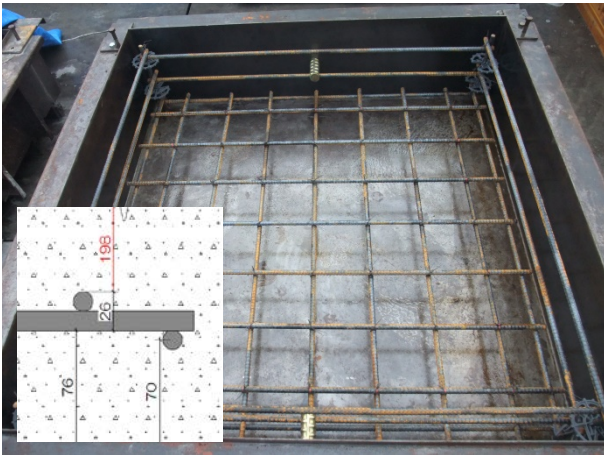


写真 2.2.3.1-1 コンクリート母材の配筋状況

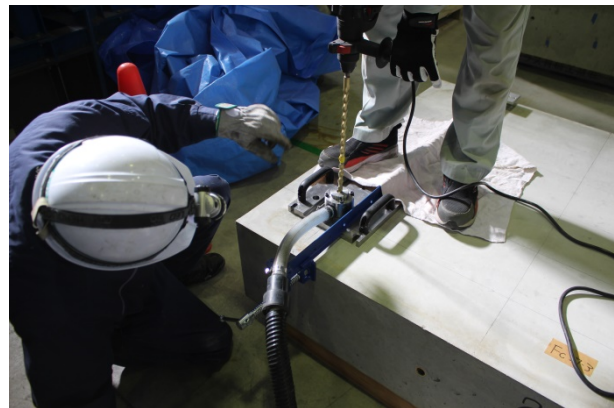


写真 2.2.3.1-2 穿孔状況

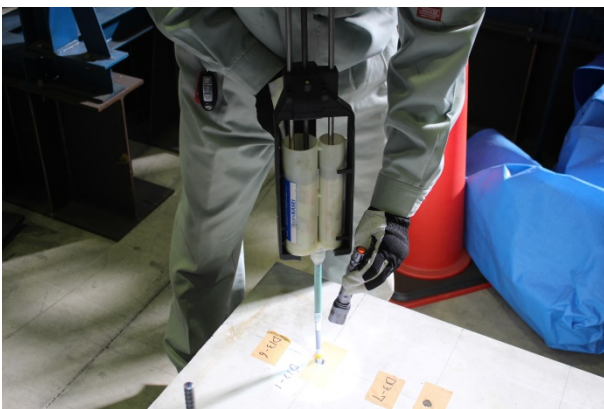


写真 2.2.3.1-3 接着剤の注入状況



写真 2.2.3.1-4 アンカー筋の固着状況

(4) 試験体の施工精度

本実験では，専用治具を用いて穿孔およびアンカー筋の固着を行った。本実験では，埋込み長さ，穿孔径，アンカー筋の垂直度について施工精度を測定した。これらの施工精度を表 2.2.3.1-6 に示す（詳細は付 4-2-1 に示す）。埋込み長さはアンカー筋の長さからアンカー筋施工後の突出長さを差し引くことにより算出した。

表 2.2.3.1-6 試験体の施工精度

アンカー筋 種類	埋込み長さ(mm)			穿孔径(mm)			垂直度(deg.)	
	目標値	平均値	標準偏差	目標値	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
D13	91.0	92.9	8.74	16.0	16.0	0.174	1.13	0.946
D16	112.0	114.3	1.48	20.0	20.0	0.078	2.50	1.65
D19	133.0	134.7	0.447	24.0	24.2	0.133	1.00	1.05
M20(5 d_a)	100.0	99.9	1.11	23.0	23.0	0.293	0.550	0.323
M20(7 d_a)	140.0	139.0	2.53	23.0	23.2	0.453	0.597	0.490

2-2-3-1-4 加力・計測方法

図 2.2.3.1-3 に加力装置，写真 2.2.3.1-5 に加力状況写真を示す。加力装置は，載荷装置，荷重計測装置，変位測定装置により構成されている。載荷装置は，加力用鋼板と載荷部から構成されており，図 2.2.3.1-4，写真 2.2.3.1-6 に本実験で用いた加力用鋼板を示す。アンカーボルトには，加力用鋼板を介してせん断力を加える方法とし，アンカーボルトに作用させるせん断力は一面せん断加力とした。また，アンカー筋を加力用鋼板に取付ける鋼板の孔部分には，図 2.2.3.1-5 に示すブッシュを用いた。ブッシュの形状は，フランジ付きのものであり，SC45C 材に H_v700 程度の焼き入れ加工を施した。ブッシュの孔径は，各アンカー筋の外径に応じて，14mm (D13)，20mm (D16)，22mm(D19, M20)とした。

加力用鋼板は，載荷部とテンションロッド (M24，材質 SNB7) にてつなぎ，アンカーボルト以外から加力用鋼板が面外方向に拘束されないようにした。加力用鋼板の小口は，鋼板の回転により，小口と母材コンクリート間での摩擦が生じないように丸みを持たせた。また，加力用鋼板と母材コンクリート間に働く摩擦力を一定にするためにテフロンシートを敷いた。

試験体への加力は油圧ジャッキおよび油圧ポンプを用いて，載荷速度 10kN/min.程度で手動により載荷した。測定は，荷重をロードセル，せん断力方向のせん断変位を電気式変位計により行った (写真 2.2.3.1-6 参照)。載荷は，異形鉄筋では一方向単調載荷でせん断変位が 4mm 程度まで，M20 では 5 体の内 2 体では一方向漸増繰返し載荷 (1mm, 2mm, 4mm, 8mm)，3 体では一方向単調載荷でせん断変位が 8mm 程度まで載荷した。

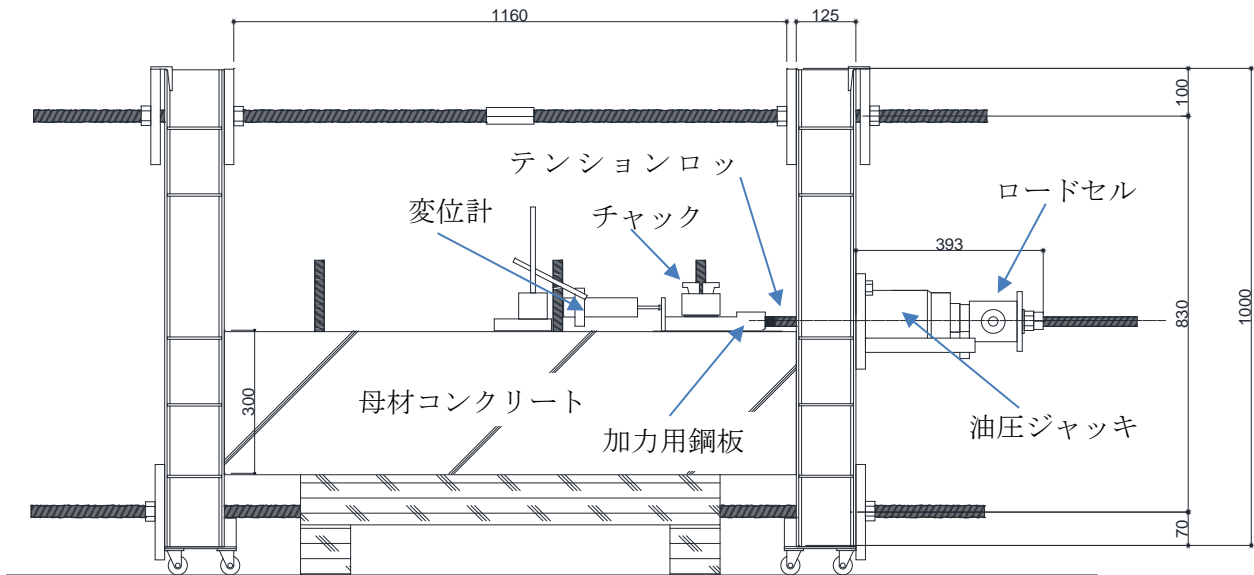


図 2.2.3.1-3 加力装置

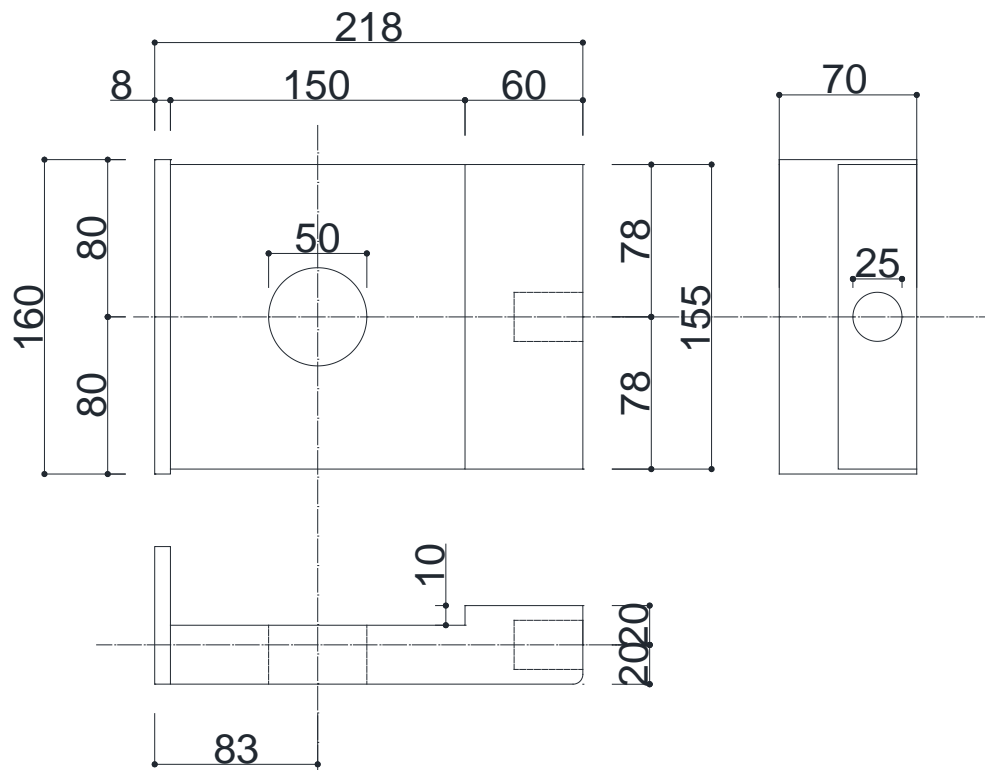


図 2.2.3.1-4 加力用鋼板

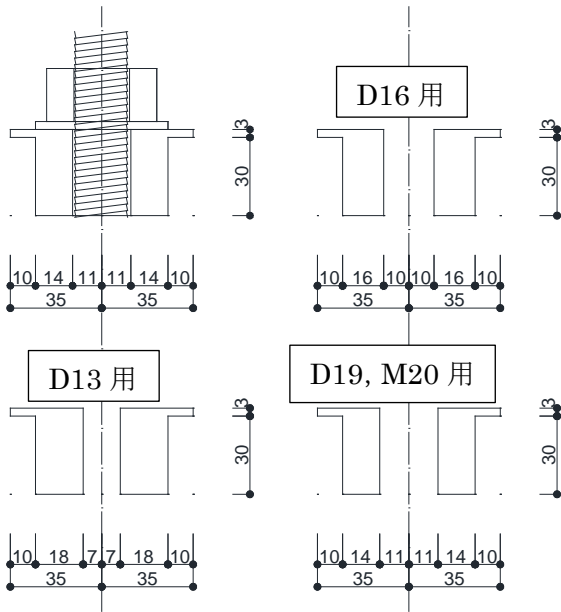


図 2.2.3.1-5 加力用鋼板のブッシュ

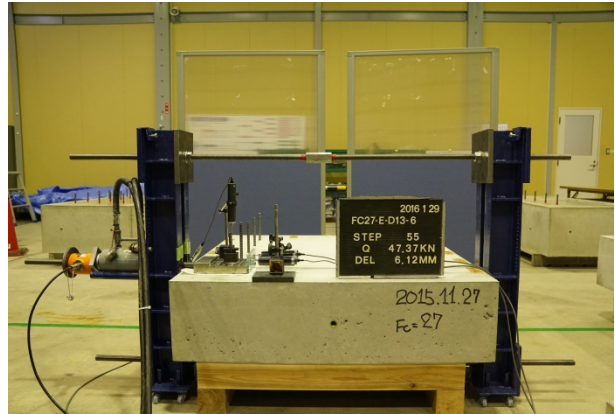
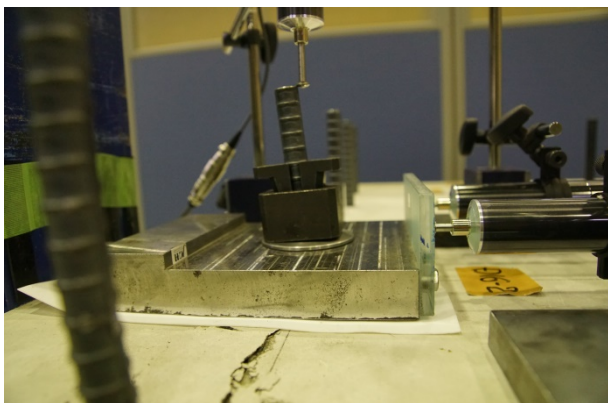
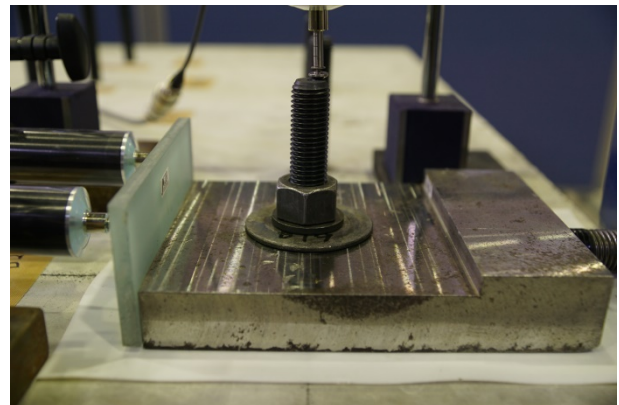


写真 2.2.3.1-5 加力状況



(1) 異形鉄筋の場合 (異形鉄筋チャック)



(2) 全ねじボルトの場合

写真 2.2.3.1-6 加力用鋼板

2-2-3-2 短期載荷試験結果

2-2-3-2-1 試験結果

表 2.2.3.1-2 に試験結果の一覧，図 2.2.3.2-1 に実験データの補正方法，図 2.2.3.2-2 に各試験体のせん断力-せん断変位関係，図 2.2.3.2-3 に要因ごとのせん断力-せん断変位関係，写真 2.2.3.2-1 に 4mm 時の異形鉄筋の支圧破壊状況，写真 2.2.3.2-2 に 8mm 時の全ねじボルトの支圧破壊状況を示す。

図 2.2.3.2-1 のせん断力-せん断変位関係のグラフは，加力初期時に加力用鋼板のブッシュ内にてアンカー筋とブッシュ孔壁に隙間があるため，アンカー筋が孔壁に接触するまでの滑り量を含んでいる（図 2.2.3.1-5 参照）。本実験におけるデータの補正方法を図 2.2.3.2-1 に示す。

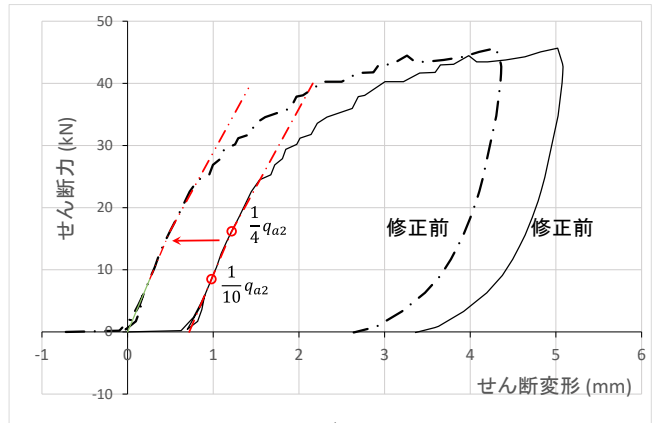


図 2.2.3.2-1 データの補正方法

接着系アンカーのせん断強度は，アンカー筋のせん断強度で決まる強度，アンカー筋を定着した母材コンクリートの支圧強度およびコーン状破壊により決まる強度等で評価されるのが一般的である。

本実験では，アンカー筋のせん断降伏を生じさせないように高強度の全ねじボルトを用いていることから，せん断剛性に影響する要因はコンクリートの支圧強度（圧縮強度）と考えられる。したがって，データの補正は，アンカー筋を定着した母材コンクリートの支圧強度を評価する(2.2.3.2-1)式^{2,4)}を用いて評価することとした。

$$q_{a2} = 0.4\sqrt{F_c \cdot E_c} \cdot s_c a \quad (2.2.3.2-1)式$$

ここで，

q_{a2} : 定着したコンクリート母材の支圧強度により決まる場合の接着系アンカーボルト 1 本当たりのせん断強度

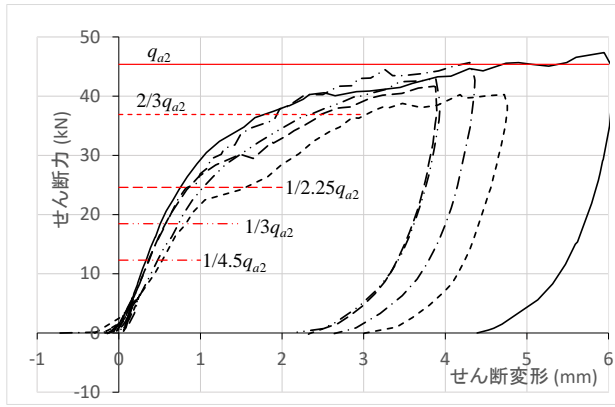
F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)

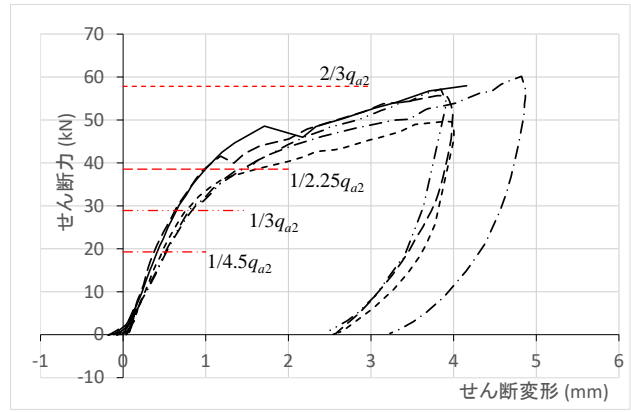
$s_c a$: 接着系アンカーボルトの断面積で，軸部断面積とねじ部有効断面積の小なる値とする

データは，ほぼ弾性範囲であると思われる区間での剛性を $1/10q_{a2}$ と $1/4q_{a2}$ から求め，その剛性からせん断力が 0 の時のせん断変位を求め，求めた変位が原点になるようにデータを補正した。

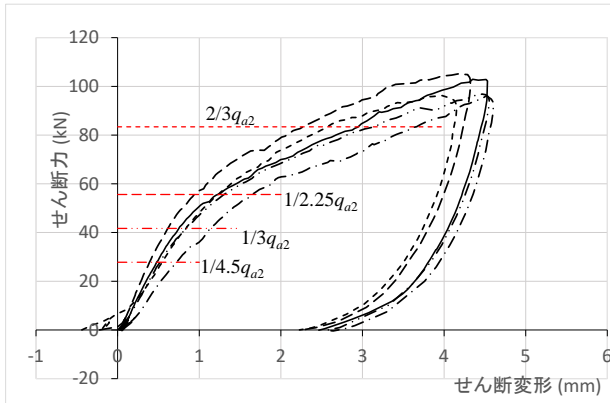
表 2.2.3.1-2 中には，せん断変形が 1mm, 2mm, 4mm, 8mm (M20 のみ) 時の耐力を示した。また，図 2.2.3.2-2 の各図中には，(2.2.3.2-1)式で算出したせん断力の値に $\phi_L = 1/3 \times 1/1.5$ ， $\phi_L' = 1/3$ ， $\phi_s = 2 \times \phi_L$ ， $\phi_s' = 2 \times \phi_L'$ を乗じた値を示した。 $\phi_L \cdot q_{a2}$ ， $\phi_L' \cdot q_{a2}$ は長期許容せん断力レベル， $\phi_s \cdot q_{a2}$ ， $\phi_s' \cdot q_{a2}$ は短期許容応力レベルに相当している。



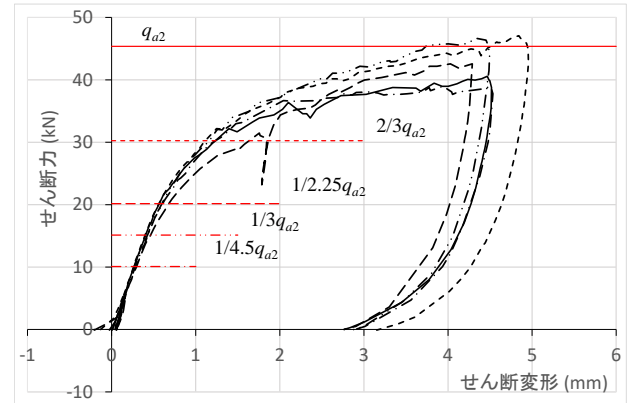
1) F_c27 , エポキシ, D13



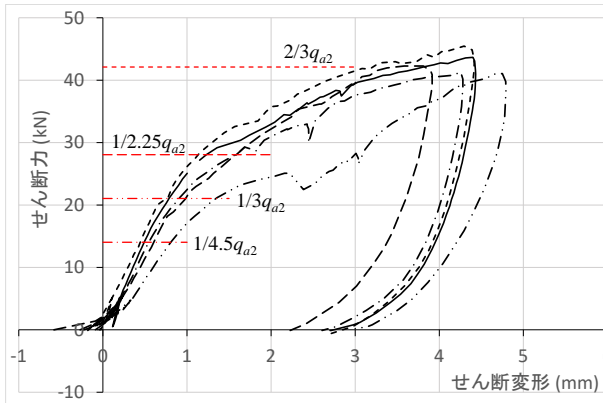
2) F_c27 , エポキシ, D16



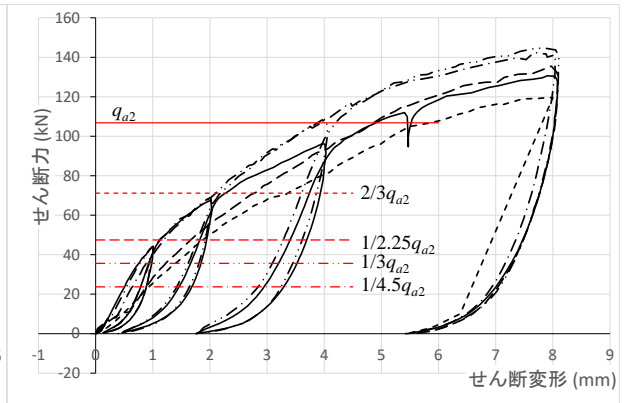
3) F_c27 , エポキシ, D19



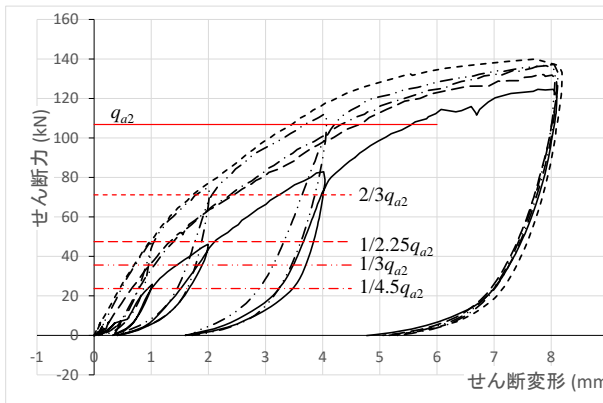
4) F_c18 , エポキシ, D13



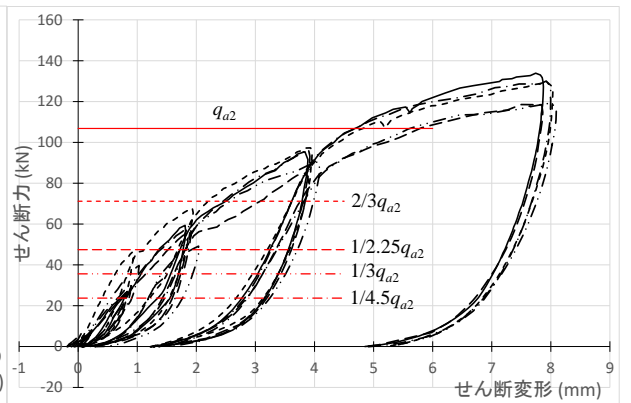
5) F_c36 , エポキシ, D13



6) F_c27 , エポキシ, M20



7) F_c27 , セメント, M20



8) F_c27 , エポキシ・アクリレート, M20

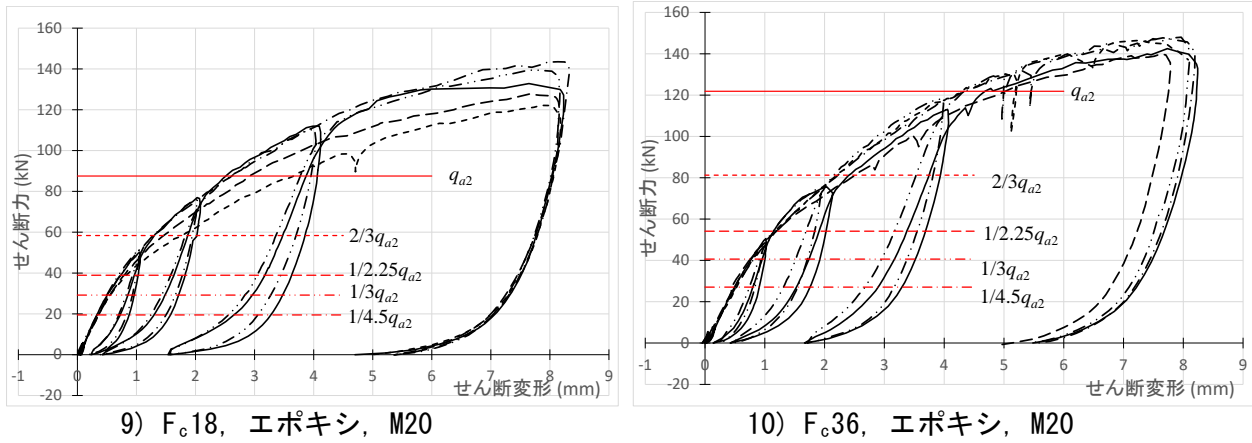
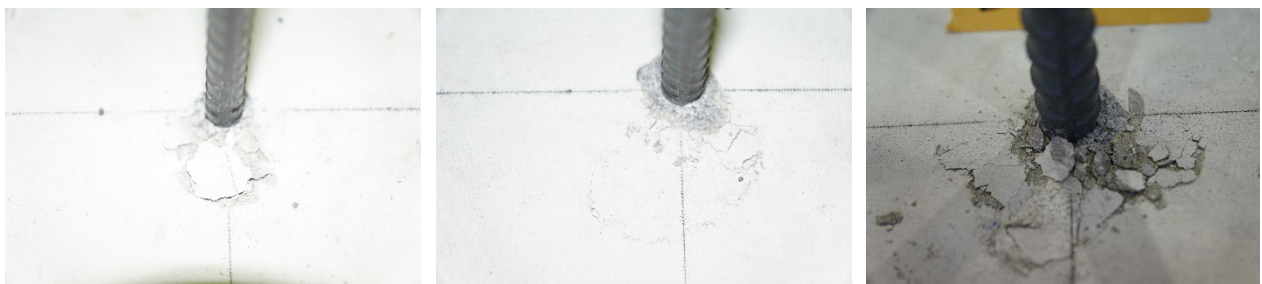


図 2.2.3.2-2 せん断力とせん断変位の関係



1) D13

2) D16

3) D19

写真 2.2.3.2-1 せん断変位 4mm 時の支圧破壊状況



1) エポキシ, M20

2) セメント, M20

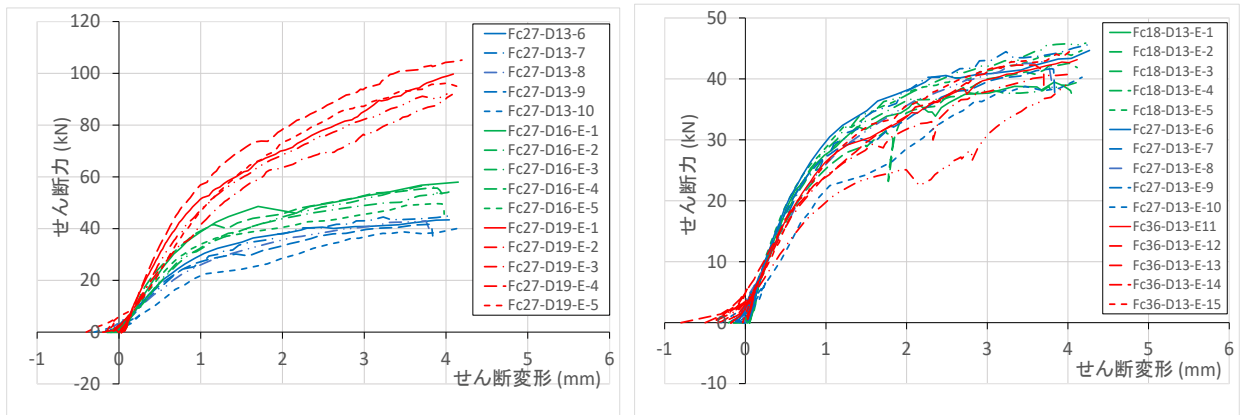
3) エポキシ・アクリレート, M20

写真 2.2.3.2-2 せん断変位 8mm 時の支圧破壊状況

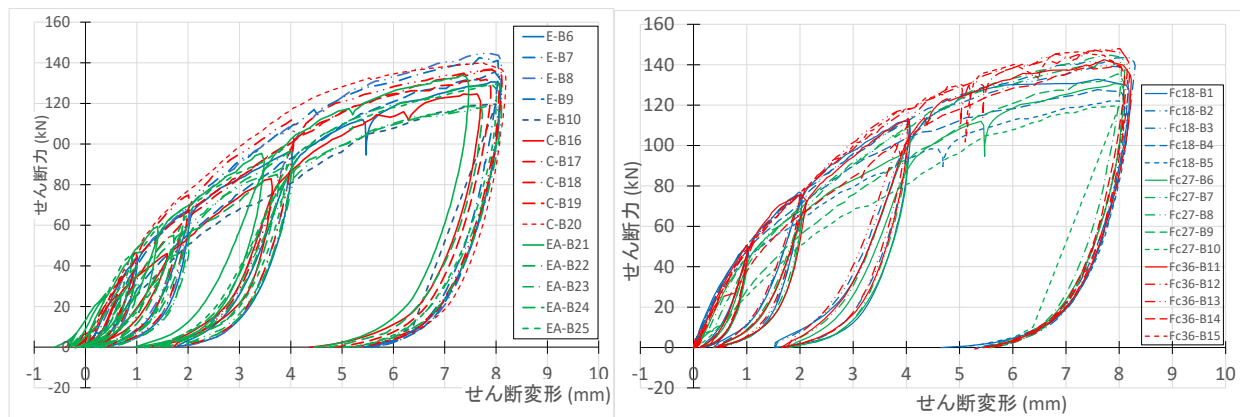
2-2-3-2-2 強度およびヤング係数との関係

図 2.2.3.2-3 に要因ごとのせん断力—せん断変位関係を示す。図 2.2.3.2-3 (1) より、せん断剛性はアンカー筋径が大きくなるほど大きくなるが、図 2.2.3.2-3 (2) より、コンクリートの圧縮強度およびヤング係数が大きくなってせん断剛性に顕著な違いは見られない。同様に、図 2.2.3.2-3 (3) より、接着剤の種類の違いによるせん断剛性に顕著な違いは見られない。

図 2.2.3.2-4 にせん断変形が 1mm, 2mm 時の耐力実験値と(2.2.3.2-1)式で算出したせん断力との比較を示す。(2.2.3.2-1)式は、コンクリート圧縮強度、ヤング係数および接合筋の断面積を要因とした評価式であり、J.W.Fisher らが提案した実験式^{2.13)}を修正したものである。要因ごとのばらつきがみられるものの、1mm 時耐力は $\phi_L \cdot q_{a2}$, $\phi_L' \cdot q_{a2}$ で算出した長期許容せん断力レベルにて、2mm 時耐力は $\phi_s \cdot q_{a2}$, $\phi_s' \cdot q_{a2}$ で算出した短期許容せん断力レベルにて評価できることがわかる。

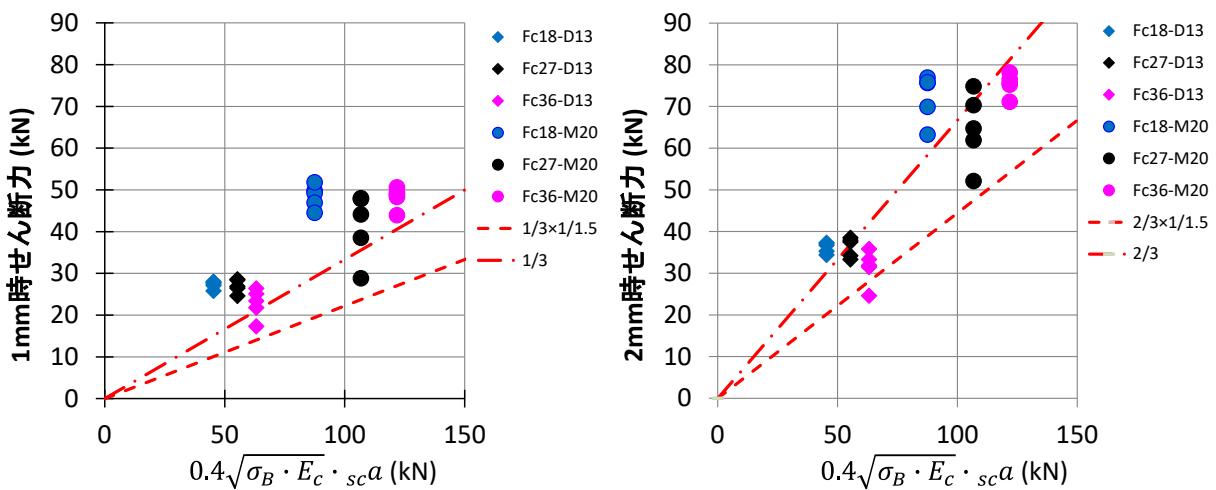


1) アンカー筋径による違い (Fc27, エポキシ) 2) コンクリート強度による違い (D13, エポキシ)



3) アンカー種類による違い (Fc27, M20) 4) コンクリート強度による違い (M20, エポキシ)

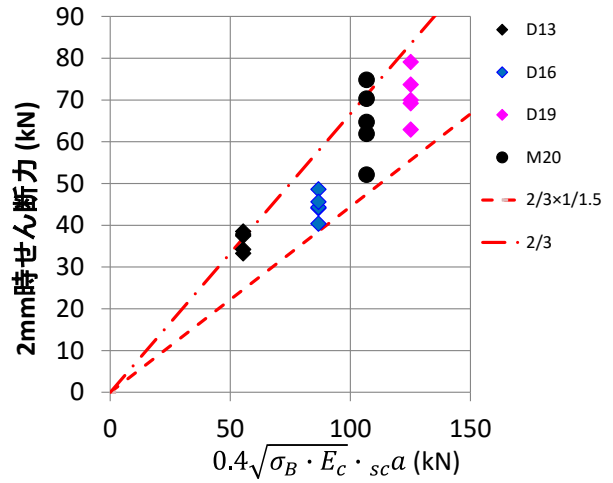
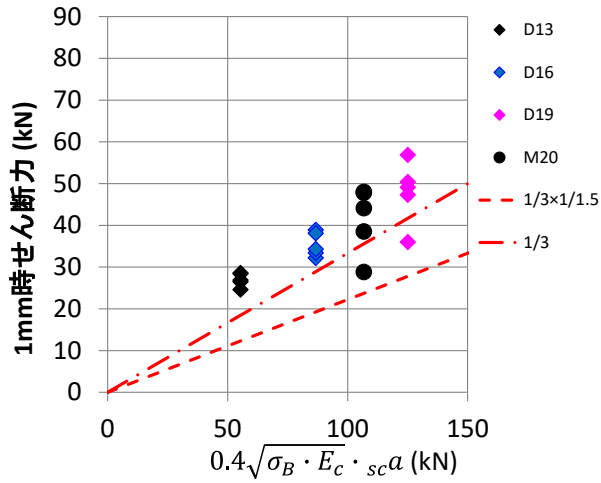
図 2.2.3.2-3 要因ごとのせん断力—せん断変位関係の比較



① 1mm 時耐力

② 2mm 時耐力

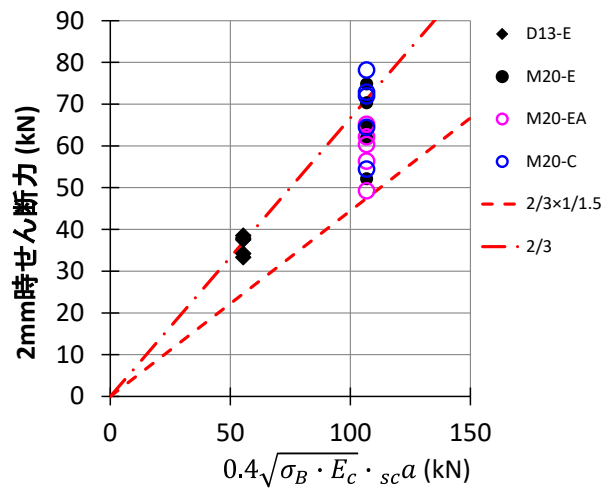
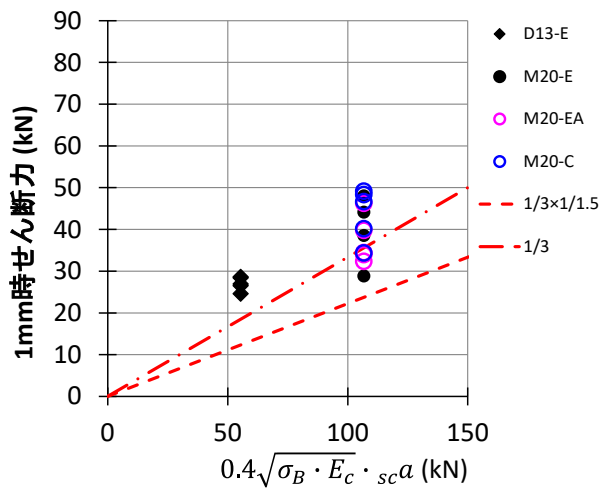
1) コンクリート強度を要因とした場合



① 1mm 時耐力

② 2mm 時耐力

2) アンカー筋径を要因とした場合



① 1mm 時耐力

② 2mm 時耐力

3) 接着剤種類を要因とした場合

図 2. 2. 3. 2-4 1mm 時耐力, 2mm 時耐力の計算値との比較

2-2-4 試験方法および品質基準の検討

2-2-4-1 付着強度に関する性能評価試験

2-2-4-1-1 性能評価項目および水準

(1) 性能評価項目

前節までの試験結果を踏まえて、あと施工アンカー単体の性能確認試験について評価の項目および評価方法等について検討を行った。

付着強度は、あと施工アンカーが有すべき最も基本的な性能である。また、付着強度だけでなくその変位や剛性についても評価の対象とする必要がある。そこで、本検討においては、性能評価を行うべき評価項目として、以下の3項目を考えた。ただし、最大荷重時の変位については、短期試験時には評価項目とはせず、クリープ試験結果の評価に用いる。

- 1) 付着強度
- 2) 最大荷重時の変位
- 3) 自由端変位 0.002D 時の付着応力

(2) 性能評価の水準

性能評価を行う場合に、付着強度への影響が大きい項目については、あと施工アンカー単体の性能を確認する必要が生じる。また、水準の設定に関しては、試験実施が困難なことや全体としての試験数量が膨大になることは避けなければならない。これらのことを考慮し、本検討では表 2.2.4.1-1 に示す評価水準を提案する。アンカー筋とコンクリート強度の組み合わせによる試験水準は6通りとなる。水準設定の主旨は以下の通りである。また、ここでは、付着強度に影響があると思われる組み合わせの観点から水準を設定しているため、評価を行うアンカーが適用範囲を限定する場合、例えばアンカー筋として異形鉄筋のみにしか適用しない場合などには、必ずしも全ての水準について評価を行うものではない。

アンカー筋の種類は、全ねじボルトと異形鉄筋によって付着強度が異なることが予想され、また、アンカー筋の径により、全ねじボルトでは径が大きくなると付着強度が小さい値となることが確認できたことから、アンカー筋として3種類とした。異形鉄筋については、高強度鉄筋が必要であり、D13とD19の強度の差が小さかったこと、D19の高強度鉄筋の入手が困難であることなどから、D13のみとした。

コンクリート強度の影響は、本実験の範囲では従来設計式で考慮されている強度の影響に比較すると小さかったものの、使用されるコンクリートの範囲をおおよそカバーすることと、一定の品質のレディーミクストコンクリートを使用する観点から、コンクリート強度の上限と下限を想定した呼び強度 18 および 36 とした。なお、レディーミクストコンクリートの生産者の違いについては、JIS A 5308 の認証を取得した製品であることを条件として単一の生産者でよいと考えた。

試験時の温度については、本実験の範囲では 5℃ から 40℃ においては大きな際は確認されなかった。また、一般的な樹脂のガラス転移点は 40℃ 以上にあると思われることから、室内などで比較的安定した環境下において使用される範囲においては 20℃ の条件で確認すればよいと思われる。ただし、屋外で日射を受けるような場合や高温となることが予想される部位で使用される場合には、60℃ もしくは温度の条件によって、当該温度において試験を実施する必要がある。

試験体数は、5 以上 7 以下とし、試験体数に応じて t 分布と仮定した場合の 95% 信頼下限を求める。

埋込み長さは、鉄筋の降伏を生じない範囲でできるだけ長くすることを意図して、鉄筋径の 5 倍 (5da)

とする。また、コーン状破壊を生じさせないため、拘束条件下での試験とする。

表 2.2.4.1-1 性能評価の評価水準案と設定の理由

項目	水準数	水準案	水準設定の理由等
アンカー筋種類・径	3	<ul style="list-style-type: none"> 全ねじボルト：M12・JIS G 4107 の SNB7 同等以上 全ねじボルト：M20（もしくは M24）・JIS G 4107 の SNB7 同等以上 異形鉄筋：D13・降伏点強度 685N/mm²以上 	<ul style="list-style-type: none"> 全ねじボルトと異形鉄筋では付着強度が異なる。 全ねじボルトでは径が大きいほど強度が低下する傾向がある。 異形鉄筋は径の違いによる影響が小さい傾向にある。また、太径の高強度鉄筋が入手困難である。
コンクリート強度	2	<ul style="list-style-type: none"> 呼び強度 18（JIS A 5308） 呼び強度 36（もしくは 30）（JIS A 5308） 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート強度によって付着強度が異なるため、適用範囲の上限・下限を想定した確認が必要。 JIS A5308 の認証品を用いることによって一定のコンクリートの品質の範囲を担保する。
試験時の温度	2	<ul style="list-style-type: none"> 20℃ 60℃（ただし、屋外での使用を想定したアンカーの場合） 	<ul style="list-style-type: none"> 40℃程度までは試験時温度の影響は受けにくい、60℃程度では接着剤によって影響を受ける。 屋外では最大 60℃程度までアンカー部の温度が上昇する。
試験体数		<ul style="list-style-type: none"> 5 以上 7 以下（試験体数により 95% 下限値が異なる） 	<ul style="list-style-type: none"> ばらつきを考慮し、95%信頼下限値を算出するため。試験体数が過度になりすぎない範囲で設定。
埋込み長さ	1	<ul style="list-style-type: none"> アンカー筋径の 5 倍 	<ul style="list-style-type: none"> アンカー筋が降伏しない範囲でできるだけ長い埋込み長さを設定。
拘束条件	1	<ul style="list-style-type: none"> 拘束 	<ul style="list-style-type: none"> 付着強度を評価するためにコーン状破壊を生じさせない。

2-2-4-1-2 試験体

(1) 母材コンクリート

1) 使用するコンクリート

使用するコンクリートは、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）の認証を受けた、呼び強度 18 および 36 の 2 種類のコンクリートとする。呼び強度 18 は実強度 σ_B で 18~24N/mm²の範囲、呼び強度 36 は実強度 σ_B で 36~42N/mm²程度に相当し、5 章に述べた性能判定基準における試験水準と対応する形となる。セメントは、普通ポルトランドセメント、骨材は、JIS A 5308 附属書 A に規定される骨材のうち、スラグ骨材、人工軽量骨材、再生骨材 H 以外を使用する。粗骨材最大寸法は 20mm、スランブは 18cm とする。レディーミクストコンクリートの発注は 1 水準の試験体の製作につき、1m³

以上とし、アジテータトラックから排出した初めと終わりの 100L 程度は使用しない。

2) 母材コンクリートの製作

母材コンクリートは、内径が 200mm 以上で使用するアンカー筋の径の 7 倍の高さとした鋼管内に 1)で発注したレディーミクストコンクリートを打ち込んで製作する。試験体の底面は鋼板もしくは型枠用合板などによって平滑面とし、打込面は金ごて仕上げ等で平滑にする。同一バッチのコンクリートから、コンクリート強度確認用の供試体を採取する。採取方法は、JIS A 1132（コンクリート強度試験用供試体の作り方）に従い、標準養生用 3 体および現場封かん養生用供試体を採取する。現場封かん養生供試体の個数は、試験時の強度確認が必要な回数に 3 本を乗じた数以上とする。

打ち込んだ母材コンクリート供試体は、常温の室内で気中養生とし、養生期間は 28 日以上とする。強度確認用現場封かん試験体は母材コンクリートと同条件で封かん養生とする。

(2) アンカー筋

アンカー筋は、JIS B 0123（ねじの表し方）における M12 および M20 の全ねじボルト寸法で、材質は JIS G 4107（高温用合金ボルト材）に規定される SNB7 と同等以上の機械的性質を有するもの、および JIS G 3112（コンクリート用棒鋼）に規定される D13 の形状および寸法で、降伏点強度が 685N/mm² 以上のものの 3 種類を用いる。

アンカー筋の長さは、埋込み長さおよび試験治具等の形状を考慮して事前に切断し、じん埃、汚れなどを取り除いておく。

(3) 接着剤

性能評価試験に使用する接着剤は、品質基準の評価のために提出した試験結果と同一ロットの試料とし、品質試験結果を添付する。

(4) アンカー筋の施工

アンカー筋の固着の作業手順を表 2.2.4.1-2 に示す。アンカー固着後の養生は、10℃以下および湿潤状態とならないよう室内で養生し、引張試験までの養生期間は 7 日以上とする。

図 2.2.4.1-1 に施工された試験体の例、図 2.2.4.1-2 に垂直に穿孔するための治具の例、図 2.2.4.1-3 にアンカー筋を垂直に固着させるための保持治具の例を示す。

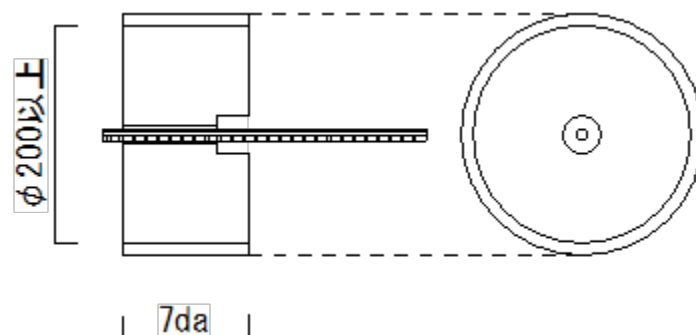


図 2.2.4.1-1 試験体の例

表 2.2.4.1-2 アンカー筋の施工手順

作業項目	作業手順
母材コンクリートへの穿孔	① 試験体底面および打込面の中央にマーキングする。
	② 底面側中央に、深さが $2d_a$ 、径がアンカー穿孔径の 1.5 倍の座堀りを行う。
	③ 図 2.2.4.1-2 の例に示すようなドリルを垂直に施工することの出来る治具を用いて打込面側から所定の穿孔径のドリルビットで穿孔する。
	④穿孔後、ひび割れや欠損等がないかを確認し、ひび割れや欠損を生じたものは使用しない。
	⑤穿孔径を確認し、穿孔径が $\pm 0.3\text{mm}$ 以下の誤差であることを確認する。
	⑥試験体の高さおよび座堀りの深さを 0.1mm まで測定し、その差を各試験体の埋込み長さとする。各試験体の埋込み長さは、所定の埋込み長さに対して $\pm 5\text{mm}$ 以下の誤差であることを確認する。
穿孔箇所の清掃・準備	⑦製造者が指定する機材および方法で、切り粉の除去、吸塵、穿孔側面の清掃を行う。
	⑧座堀りの孔側面に接着剤が直接付着しないような処理を行う。
アンカー筋の固着	⑨試験体底面に施工方法に応じて自由端を飛び出させるための凹状の台座を取り付ける。
	⑩製造者が指定する機材および方法で、アンカー筋を固着させる。アンカー筋の固着には、図 2.2.4.1-3 の例に示すようなアンカー筋を垂直に保持するための治具を用いるとよい。
	⑪接着剤が硬化後に⑧の台座を取り外し、接着剤の充填不良やアンカー筋の著しい倒れなどが無いことを確認する。アンカー筋の倒れの許容範囲は、母材コンクリートの載荷面に対して <u>垂直から ± 5 度以内</u> であることとする。

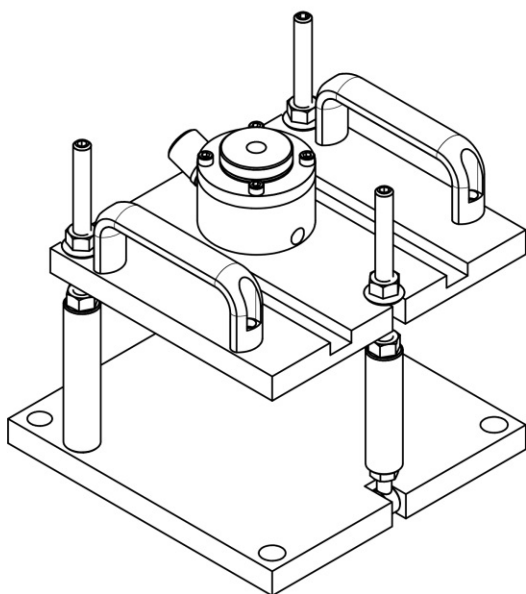


図 2.2.4.1-2 穿孔のための固定治具の例

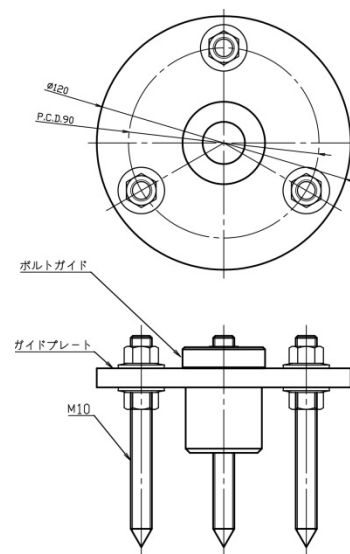


図 2.2.4.1-3 アンカー筋を保持用治具の例

2-2-4-1-3 試験装置および試験方法

試験装置は、図 2.2.4.1-4 の例に示すような装置を用い、油圧ジャッキにより試験体に引張荷重を載荷する。装置に使用する構成部品は十分な剛性を持ち、200kN の載荷に耐えられる構造とする。

アンカー筋と引張用ロッドの接続は、全ねじボルトの場合は異径用のカップリングナットで接続する。異形鉄筋と引張用ロッドの接続は、載荷中に緩みが生じないような治具（チャック）を用いる。

変位の計測は、自由端側の鉄筋端部に変位計を当てて測定する。変位計は試験体の底面に固定することを原則とする。なお、母材コンクリートの変形が計測に支障がないことを確認されている場合には、台座などに固定して計測してもよい。

試験体への載荷は、載荷速度 $30 \pm 10 \text{ kN/min}$ を目安として油圧ジャッキを用いて載荷する。載荷中は荷重および自由端変位を連続的に計測し記録しておく。

試験は、同一水準について5体以上7体以下について実施する。

試験を実施する日と同じ日に、JIS A 1108（コンクリートの圧縮強度試験方法）に従い、現場封かん養生とした母材コンクリートの供試体の圧縮強度試験を行う。1回の試験につき3体の試験を行う。また、材齢28日において標準養生供試体の圧縮強度試験を行う。

試験は、温度 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ に管理された試験室において実施する。

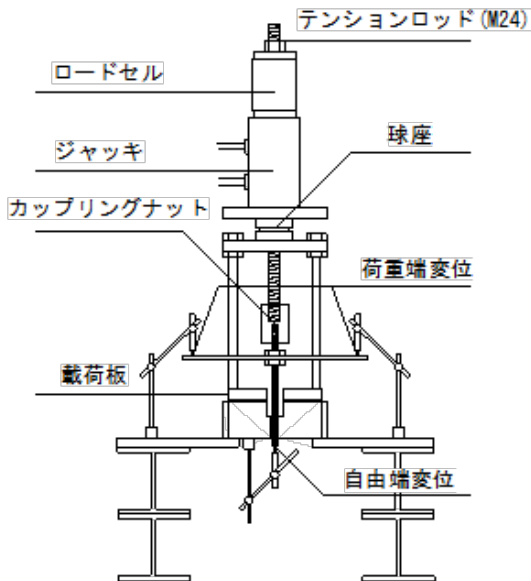


図 2.2.4.1-4 試験装置の例

2-2-4-1-4 計算

載荷中の荷重および自由端変位はすべて記録および保管しておく。荷重および変位の測定結果は、以下について整理する。

(1) 付着強度

載荷中の最大荷重を計測し、(2.2.4.1-1)式により付着強度を求める。付着強度は、四捨五入を行って有効数字3けたに丸める。

$$\tau = \frac{P}{\pi \cdot d_a \cdot l_e} \quad (2.2.4.1-1)式$$

ここに、

τ : 付着強度 (N/mm²)

P : 最大荷重 (N)

d_a : アンカー筋の呼び径 (mm)

l_e : 埋込み長さ (mm)

(2) 最大荷重時の変位

最大荷重を生じた時の自由端変位を記録する。ただし、最大荷重付近で荷重の増減が繰り返されるような場合には、最初のピーク時の変位を最大荷重時の変位とする。最大荷重時の変位は、四捨五入を行って有効数字3けたに丸める。

(3) 自由端変位 0.002D 時の付着応力

自由端変位が、アンカー筋呼び径の 0.002 倍 (M12 : 0.024mm, M20 : 0.040mm, D13 : 0.026mm) となった時の引張荷重から、その時の付着応力を(2.2.4.1-2)式により求める。変位が同じ値となった場合は、最も小さい荷重をその時の荷重とする。自由端変位 0.002D 時の付着応力は、四捨五入を行って有効数字3けたに丸める。

$$\tau_{0.002} = \frac{P_{0.002}}{\pi \cdot d_a \cdot l_e} \quad (2.2.4.1-2)式$$

ここに、

$\tau_{0.002}$: 自由端変位 0.002D 時の付着応力 (N/mm²)

$P_{0.002}$: 自由端変位 0.002D 時の引張荷重 (N)

d_a : アンカー筋の呼び径 (mm)

l_e : 埋込み長さ (mm)

2-2-4-1-5 各水準の試験結果の整理

各水準の試験結果について、(2.2.4.1-3)式により平均、(2.2.4.1-4)式により標準偏差を求め、(2.2.4.1-5)式により変動係数を求める。各水準において変動係数が 15%以上となった場合は、その水準の結果は無効とする。また、各水準の付着強度および標準偏差から、(2.2.4.1-6)式により各水準の付着強度の 95%信頼下限値を求める。これらはすべて、四捨五入により有効数字3けたに丸める。

$$\tau_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{n} \quad (2.2.4.1-3)式$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tau_i - \tau_{ave})^2}{n-1}} \quad (2.2.4.1-4)式$$

$$C.V. = \frac{\sigma}{\tau_{ave}} \times 100 \quad (2.2.4.1-5)式$$

$$\tau_{95} = \tau_{ave} - m \cdot \sigma \quad (2.2.4.1-6)式$$

ここに、

τ_{ave} : 各水準の付着強度の平均値 (N/mm²)

σ : 各水準の付着強度の標準偏差 (N/mm²)

C.V. : 各水準の変動係数 (%)

τ_{95} : 付着強度の95%信頼下限値 (N/mm²)

τ_i : 各試験体の付着強度 (N/mm²)

n : 各水準の試験体数

m : 95%信頼下限値を与える係数で、試験体数に応じて下表による

試験体数	m
5	2.132
6	2.015
7	1.943

2-2-4-1-5 記録および報告

試験結果は、以下について記録し、その結果を報告する。

- a) 母材コンクリート製作、アンカー固着および付着強度試験の実施日
- b) 試験体に使用したコンクリートの材料および調合
- c) コンクリートの材齢 28 日標準養生供試体の圧縮強度および付着試験実施日の現場封かん養生供試体の圧縮強度
- d) アンカー筋に使用した材料の種類とその降伏点強度、引張強度およびヤング係数
- e) 各試験体の埋込み長さ
- f) 試験実施までの養生条件および試験時の温度
- g) 各試験体の最大荷重と付着強度、最大荷重時の自由端変位、自由端変位 0.002D 時の付着応力
- h) 各水準の付着強度の平均値、標準偏差、変動係数および 95%信頼下限値
- i) その他、試験体および試験実施に関する特記事項

2-2-4-2 セン断強度に関する性能評価試験

2-2-4-2-1 性能評価項目および水準

(1) 性能評価項目

あと施工アンカー単体のせん断および剛性は、引張力が確保されていれば、それぞれアンカー筋の強度および剛性に依存する。したがって、性能評価にあたってのせん断強度試験は不要と思われる。しかし、長期・短期の許容せん断力時のせん断変形（剛性）を把握することは必要である。そこで、本検討においては、性能評価を行うべき評価項目として、以下の2項目を考えた。

- 1) 最大せん断強度
- 2) 許容応力度時のせん断変形（剛性）

(2) 性能評価の水準

あと施工アンカー単体のせん断強度は、引抜き力に対する付着性能、アンカー筋のせん断強度、アンカー筋径、及び、コンクリートの圧縮強度、ヤング係数に大きく影響されると考えられる。付着性能を左右すると考えられる要因として、穿孔方法、接着剤充填方法、母材コンクリートの種類、接着剤の種類、アンカー筋種別、アンカー筋径、アンカー筋有効埋込み長さ、および、アンカー筋の施工方法等がある。これらの要因は、性能評価申請時の要領書に従うものとし、本検討では下記に示す評価水準を提案する。

- 1) コンクリート強度2水準 : 呼び強度 18, 36 (JIS A 5308)

コンクリート強度およびヤング係数によってせん断剛性が異なるため、適用範囲の上限・下限を想定した確認が必要である。JIS A5308 の認証品を用いることによって、一定のコンクリートの品質の範囲を担保する。

- 2) 埋込み長さ : $7d_a$ (d_a : アンカー筋径)

アンカー筋が拔出さずに確実にせん断破壊を示す埋込み長さを設定する。

- 3) 試験体数 : 5以上7以下

ばらつきを考慮し、95%信頼下限値を算出するために、試験体数が過度になりすぎない範囲で設定する。

2-2-4-2-2 試験体

試験体の製作に当っては、共通事項として次の項目に配慮する。

- (1) 試験体は、母材コンクリートと固着したアンカーから構成されるものとする。

- (2) 試験体の形状、寸法は、試験体ごとに適切な形状、寸法とする。基本的に、はしあき部分のコンクリートがコーン破壊しないよう、試験体の形状・寸法を設定する。なお、はしあき部分がコーン破壊する場合には、試験体の厚さを $1.5c$ (c : はしあき距離) 以上とする。また、せん断試験でコーン破壊する場合には、アンカー間隔の最小値を $3.0c$ とする (図 2.2.4.2-1 参照)。

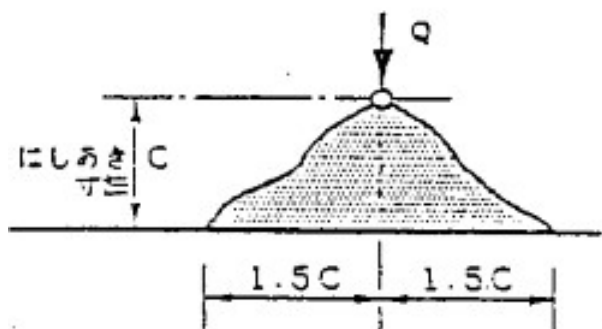


図 2.2.4.2-1 コーン破壊時のコーン寸法

- (3) 母材コンクリートに使用するコンクリートの調合、圧縮強度の確認、セメント、骨材、養生は、2-2-4-1-2項に規定されている付着強度試験体に準じるものとする。試験結果に影響を及ぼさないように、母材表面からアンカー筋の埋込み長さ以内には配筋しない。ただし、運搬用等の鉄筋は、アンカーの固着性能に影響しない範囲で入れてよいものとする。
- (4) 穿孔方法、接着剤充填方法、母材コンクリートの種類、接着剤の種類、アンカー筋種別、アンカー筋径、アンカー筋有効埋込み長さ、および、アンカー筋の施工は性能評価申請時の要領書に従うものとする。

2-2-4-2-3 試験装置および試験方法

試験装置の一例を図 2.2.4.2-2 に示す。本試験装置は、文献^{2.14)~2.16)}により報告されている試験装置を参考にしたものである。せん断試験の装置は、載荷装置、荷重計測装置、変位測定装置から構成される。

(1) 載荷装置

載荷装置は、アンカーに加力するための加力用鋼板とアンカーの軸方向に対して直角方向にせん断力を与えられる載荷部からなる加力装置と、その反力を支える反力装置から構成される。

① 加力装置

加力装置は、加力用鋼板と載荷部から構成されており、本実験で使用した加力用鋼板の一例を図 2.2.4.2-3 に示す。加力装置の条件としては、文献^{2.14)~2.16)}より、下記の点を考慮する必要がある。

- ・ アンカーには加力用鋼板を介してせん断力を加えられるようにし、アンカーに作用させるせん断力は一面せん断力とし、加力用鋼板はアンカー以外により面外に拘束されないようにする。加力用鋼板は、載荷部とテンションロッドにて繋ぎ、アンカー以外から加力用鋼板が面外方向に拘束されないようにする。
- ・ 加力用鋼板の小口は、鋼板の回転により、小口と母材コンクリートでの摩擦抵抗が生じないように丸みを持たせる。また、鋼板と母材の間に働く摩擦力は常に一定となるような処置を施す(参考例では、小口で $r=5\text{mm}$ 程度の丸みを持たせ、母材と鋼板の間にテフロンシートを敷いた)。
- ・ 加力用鋼板の孔径は、アンカー筋径に近い値とする。加力用鋼板の孔径はできるだけボルト径に近いことが望ましいが、文献^{2.14)~2.16)}を参考にアンカー筋径に対する孔余裕を 2mm 程度とした(参考例では、D13 : 14mm, D16 : 20mm, D19 : 22mm, M20 : 22mm とした。なお、本参考例では口述するブッシュを使用した)。
- ・ 加力用鋼板の板厚さおよび材質は、アンカーの支圧に耐えられるように定める。加力用鋼板の孔部分の支圧応力度が 1.2F 以下となるように加力用鋼板の材質および厚さを決めると良い。
- ・ 試験用アンカーボルトにより取り付ける鋼板の孔部分は、アンカーボルトから大きな局部応力を受けるため、数回の使用で、局部応力により耐えられなくなるため、S45C, S50C, SCM435 などの高強度・高硬度材料を使用する必要がある。さらに、孔部分を保護する目的から孔部分のみを高強度・高硬度とする方式で試験されるようになってきた。(参考例では、図 2.2.4.2-4 に示す、フランジ付きで、面取り加工を施さないものを用いた。材質は S45C であり、焼き入れ処理を施した。)
- ・ 加力用鋼板の各辺の長さは、孔を設けることによる応力集中に対して、十分な強度と剛性を有するように定める。また、せん断方向に対しては、取り付け鋼板の回転が生じにくい長さで面外変形が生じにくい剛性とする。

- ・ 外力は、アンカー軸方向に対し直角方向に、すなわち、加力用鋼板の面内方向に作用させる。
- ・ 載荷部は、アンカーをせん断破壊させるための十分な荷重と変位容量を有し、連続的に加力できる装置とする。

② 反力装置

反力装置は、想定される最大せん断力に対して十分な強度を有し、加力によってせん断方向力が変わらないような十分な剛性を有するものとする。

(2) 荷重計測装置

荷重計測装置は、アンカーに加えられたせん断力を常にまたは定期的に、かつ正確に計測できるものとし、想定されるせん断耐力を十分上回る容量を有するものを用いる。精度の良いロードセルなどを用いて測定し、読み取りまたは記録精度は、測定せん断荷重の 1/100 以下の公差のものとする。

(3) 変位測定装置

変位測定装置は、アンカーのせん断力方向のせん断変位を常にまたは定期的に、かつ正確に測定できるものとする。コンクリートの支圧破壊を伴うアンカー筋のせん断破壊における最大せん断荷重時のせん断変位を示すが、アンカーにより物をコンクリート構造物に取付けた場合のせん断力伝達性能を把握することを主眼に置いていることから、アンカー筋径程度のせん断変形量が測定できれば良いものとする。読み取りまたは記録精度は、アンカー筋径の 1/500 以下の公差のものとする。

図 2.2.4.2-2 に示す参考例では、変位測定装置は載荷装置から独立して設けることにより、荷重の影響を受けないように設置してある。アンカーのせん断変形は加力用鋼板の水平変位量とし、せん断力方向に対して、母材コンクリートより 45mm の位置にて同一水平面において測定した。

(4) 試験方法

載荷するにあたっての加力用鋼板の止め付けは、アンカーメーカーが推奨する軸力が導入されるように締め付けることとする。参考例では、異形鉄筋ではアンカー引抜き試験用のチャック、全ねじボルトでは手締め程度(手回しによる締め付け後に、ナットが 45° 回転するまでレンチにより締め付けた。)の締め付けにより加力用鋼板を止め付けた(図 2.2.4.2-3 参照)。

載荷速度は、平均増加率が毎秒 20N/mm²以下を採用するものとする(参考例では、10kN/min を目安としてジャッキを用いて加力した。)。載荷中は、荷重およびせん断変形の測定は同時に行い、連続的に記録しておく。

試験は、同一水準について 5 体以上 7 体以下について実施する。

試験を実施する日と同じ日に、JIS A 1108 (コンクリート圧縮強度試験方法) に従い、現場封かん養生とした母材コンクリートの供試体の圧縮強度試験を行う。1 回の試験につき 3 体の試験を行う。また、材齢 28 日において標準養生供試体の圧縮強度試験を行う。

試験は、温度 20±5℃ に管理された試験室にて実施する。

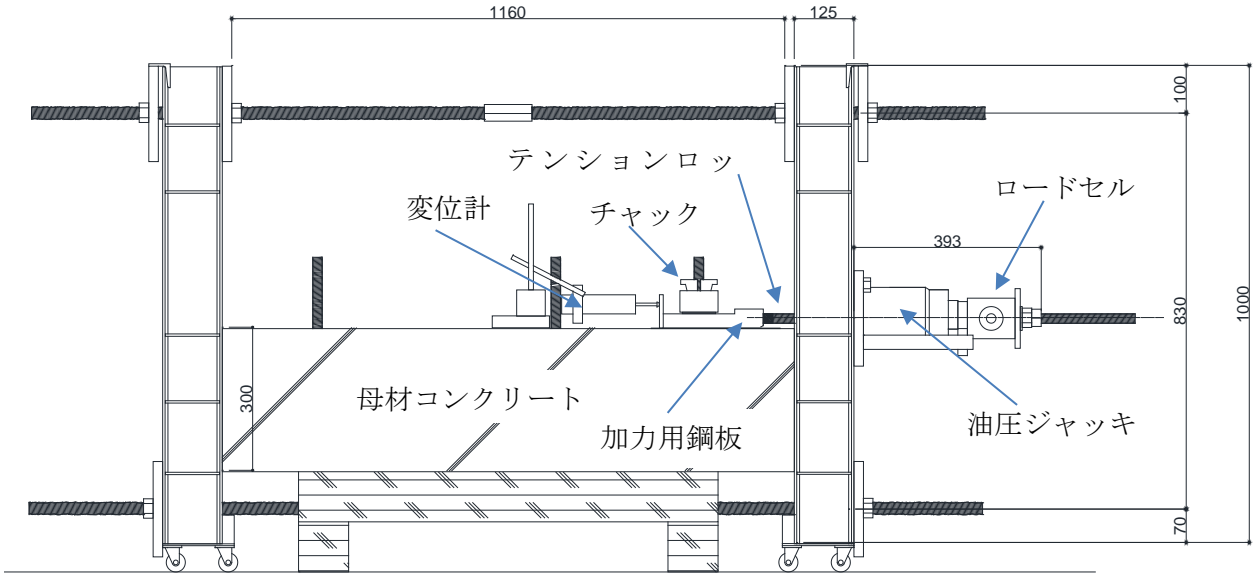
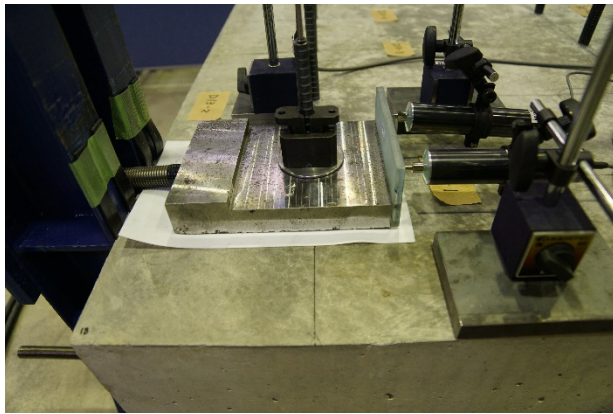
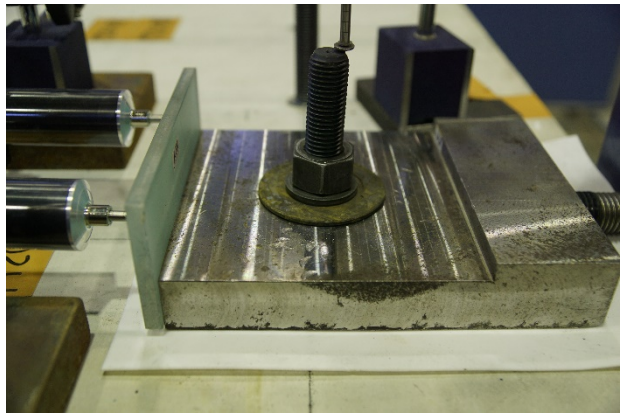


図 2. 2. 4. 2-2 試験装置の一例

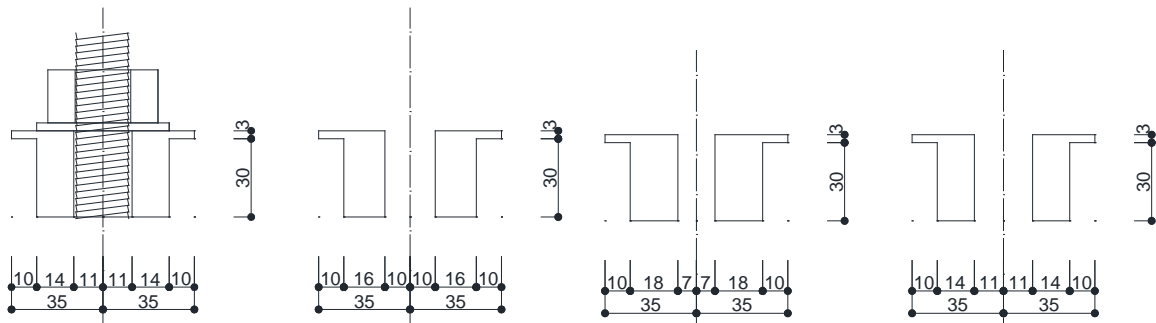


(1) 異形鉄筋の場合



(2) 全ねじボルトの場合

図 2. 2. 4. 2-3 加力用鋼板の一例



(ア) D13 用

(2) D16 用

(3) D19, M20 用

図 2. 2. 4. 2-4 加力用鋼板のブッシュ形状

2-2-4-2-4 記録および報告

試験結果は、以下について記録し、その結果を報告する。

- a) 母材コンクリート製作，アンカー施工およびせん断実験の実施日
- b) 使用したアンカーの概要
 - ・接着剤の材質・物性値
 - ・アンカー筋の材質・物性値
- c) コンクリート母材の概要
 - ・コンクリートの材料・調合
 - ・材齢 28 日標準養生試験体の圧縮強度，実験日の現場封かん養生試験体の圧縮強度・ヤング係数
 - ・コンクリート母材の形状，穿孔径，穿孔深さ，ピッチ
- d) 試験の概要
 - ・試験装置，載荷方法，載荷速度
- e) 試験結果
 - ・最大荷重，最大荷重時の変位，1mm，2mm，4mm 時耐力，せん断力ーせん断変形関係図
- f) 最終破壊状況

2-2-4-2-5 試験結果の評価方法

試験結果の評価は，最大せん断強度，せん断変形が 1mm 時，2mm 時の耐力を 2-2-4-1-5 項に規定されている付着強度試験体における各水準の試験結果の整理方法に基づいて評価する。

(1) 最大せん断強度

接着系あと施工アンカーの最大せん断強度は，破壊形式に応じて(2.2.4.2-1)式および(2.2.4.2-2)式による計算値に対して 95%以上の信頼性を有することを確認する。

① コンクリートが支圧破壊したアンカーの最大せん断強度計算値

$$Q_{mc} = 0.4 \sqrt{E_c \cdot \sigma_B} \cdot s a_0 \quad \text{ただし, } 500 \leq \sqrt{E_c \cdot \sigma_B} \leq 900 \quad (\text{N/mm}^2) \quad (2.2.4.2-1)\text{式}$$

記号 Q_{mc} : コンクリートが支圧破壊したアンカーの最大せん断強度計算値 (N)

E_c : 試験体コンクリートの試験実施日のヤング係数 (N/mm²) で，圧縮強度より推定してもよい。

σ_B : 試験体コンクリートの試験実施日の圧縮強度 (N/mm²)

$s a_0$: アンカー筋の公称断面積 (mm²)

② アンカー筋が破断したアンカーの最大せん断強度計算値

$$Q_{mu} = \frac{m\sigma_u}{\sqrt{3}} \cdot s a_0 \quad (2.2.4.2-2)\text{式}$$

記号 Q_{mu} : アンカー筋が破断したアンカーの最大せん断強度計算値 (N)

$m\sigma_u$: アンカー筋の規格引張強さ (N/mm²)

$s a_0$: アンカー筋の公称断面積 (mm²)

③ 95%以上の終局せん断耐力の信頼性は，コンクリート圧縮強度の水準ごと，破壊形式ごとに次式を満たすことにより確認する。

$$X_{mean} - m \cdot s \geq 1.0 \quad (2.2.4.2-3)\text{式}$$

記号 X_{mean} : (実験値/最大せん断強度計算値) の平均値で、次式による。

$$X_{mean} = \sum_{i=1}^N X_i / N$$

X_i : (実験値/最大せん断強度計算値)

N : 試験体数(コンクリート圧縮強度の水準ごとの同一破壊形式の試験体数)

m : (実験値/終局せん断耐力計算値) の分布形状と試験体数に応じて95%以上の信頼係数を与える数値で、 t 分布表(不良率片側0.05, 両側0.1)より算定してよい。

s : (実験値/終局せん断耐力計算値) の標本標準偏差で、次式による。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - X_{mean})^2}{N-1}} \quad (2.2.4.2-4)式$$

(2) あと施工アンカーのせん断変形が1mm時のせん断耐力, 2mm時のせん断耐力が, それぞれ(2.2.4.2.5)式, (2.2.4.2.6)式による計算値に対して95%以上の信頼性を有することを確認する。

$$LQ_{mc} = \frac{1}{4.5} \times 0.4 \times \sqrt{E_c \cdot \sigma_B \cdot s a_0} \quad (2.2.4.2-5)式$$

$$sQ_{mc} = \frac{1}{2.25} \times 0.4 \times \sqrt{E_c \cdot \sigma_B \cdot s a_0}$$

(2.2.4.2-6)式

記号 LQ_{mc} : 長期許容せん断力 (N)

sQ_{mc} : 短期許容せん断力 (N)

E_c : 試験体コンクリートの試験実施日のヤング係数 (N/mm²) で、圧縮強度より推定してもよい。

σ_B : 試験体コンクリートの試験実施日の圧縮強度 (N/mm²)

$s a_0$: アンカー筋の公称断面積 (mm²)

95%以上の許容せん断力の信頼性は、コンクリート圧縮強度の水準ごと、許容せん断力ごとに次式を満たすことにより確認する。

$$X_{mean} - m \cdot s \geq 1.0 \quad (2.2.4.2-7)式$$

記号 X_{mean} : (実験値/許容せん断力計算値) の平均値で、次式による。

$$X_{mean} = \sum_{i=1}^N X_i / N$$

X_i : (実験値/許容せん断力計算値)

N : 試験体数

m : (実験値/許容せん断計算値) の分布形状と試験体数に応じて95%以上の信頼係数を与える数値で、 t 分布表(不良率片側0.05, 両側0.1)より算定してよい。

s : (実験値/許容せん断耐力計算値) の標本標準偏差で、次式による。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - X_{mean})^2}{N-1}} \quad (2.2.4.2-8)式$$

2-3 長期引張試験（平成28年度実施）

2-3-1 検討概要

平成28年度の検討では、あと施工アンカー単体の性能および品質確認試験のための検討として、長期引張試験を実施した。本節では、長期引張試験を、短期クリープ試験と長期クリープ試験に区分してとりまとめた。本節において、短期クリープ試験とは、クリープ破壊時における破壊時の変位に関する実験であり、あと施工アンカーに短期的にクリープ破壊を生じるレベルの荷重を載荷し、クリープ破壊時の変位やその限界点を定めるための実験とし、長期クリープ試験とは、長期的なクリープ特性を評価するためのクリープ限度以下となる荷重レベルでのクリープ試験とする。

2-3-2 実験計画

2-3-2-1 短期クリープ試験

ACI 355.4-11^{2.7)}や EOTA ETAG 001 Part 5^{2.8)}で規定されているクリープ試験では、90日間の連続載荷における70～90日での変位を(2.3.2.1)式で表されるべき乗式に外挿して長期的なクリープ変形量を予測し、その変形量と短期試験時の最大荷重時の変位に到達した時点をクリック破壊が生じる時間として評価を行っている。

$$S(t) = S(0) + a \cdot t^b \quad (2.3.2.1)式$$

ここで、

$S(t)$: 時間 t における変位 t : クリープ開始後の時間

$S(0)$: 載荷直後における変位 a, b : 実験によって最小二乗法により定める定数

しかしながら、ここでのクリープ破壊の基準となる変位は短期載荷試験で得られた破壊時の変位であり、クリープ破壊によって破壊する時の変位とは大きく異なることがこれまでの実験結果から分かっている。そのため、クリープ特性の合理的な評価を行うため、クリープ破壊時の変位(ここでクリープ破壊時変位と記す)およびクリープ破壊を生じないための限界の変位(クリープ限度における変位)を得るための実験を行った。

(1) 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表2.3.2.1に示す。ここで荷重レベルとは、短期載荷試験で得られた最大耐力の平均値に対する目標載荷荷重の比である。一般的に荷重レベルが0.6～0.7程度を超えるとクリープ破壊が生じると言われている。

表 2.3.2.1 実験の水準一覧表(短期クリープ試験)

水準	アンカー筋種類	埋込長さ	環境温度	目標荷重	接着剤種類
1	D13	5da	20℃	$0.75\tau_{max}$	エポキシ系
2	D13	5da	20℃	$0.85\tau_{max}$	エポキシ系
3	D13	5da	40℃	$0.75\tau_{max}$	エポキシ系
4	D13	5da	40℃	$0.85\tau_{max}$	エポキシ系
5	D13	5da	20℃	$0.85\tau_{max}$	セメント系
6	D13	5da	40℃	$0.85\tau_{max}$	セメント系
7	D13 先付け	5da	20℃	$0.85\tau_{max}$	—
8	D13 先付け	5da	40℃	$0.85\tau_{max}$	—

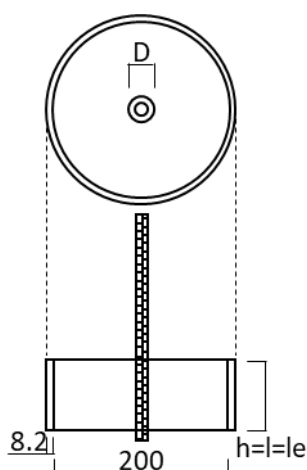
(2) 試験体

試験体は、これまでの検討と同様に、φ200mmの鋼管にコンクリートを打設した母材コンクリートの中央にあと施工アンカーを施工した。試験体の形状および寸法を図2.3.2.1に示す。昨年度までの検討から、母材コンクリートには、座堀を設けず、鋼管の高さと付着長さを同一とした。アンカー筋には、M12の全ねじおよびD13の異形鉄筋を使用しており、付着長さ(鋼管高さ)は、アンカー筋径の5倍とし、M12が60mm、D13が65mmとなる。

母材コンクリートは、呼び強度21、目標スランプ18cm、目標空気量4.5%のレディーミクストコンクリートを用いた。あと施工アンカーを施工した母材は平成28年11月24日に型枠に打ち込み、先付け試験体は平成28年12月7日に型枠に打ち込んだ。コンクリートの使用材料を表2.3.2.2に、調合およびフレッシュ試験結果を表2.3.2.3に、強度およびヤング係数試験結果を表2.3.2.4に示す。打ち込みおよび養生は、建築研究所複合材料実験棟で行い、養生期間中は温度が20±3℃の範囲になるように調整した。

アンカー筋には、M12の全ねじ、D13の異形鉄筋の2種類を用いた。アンカー筋の機械的性質を表2.3.2.5に示す。

接着剤は、エポキシ樹脂系の接着剤およびセメント系の接着剤を用いた。接着剤の品質を表2.3.2.6に示す。これらの樹脂は平成27年度(2-2-2項)の実験に使用したのと同じである。



アンカー筋	埋込長さ <i>l</i> (mm)	試験体高さ <i>h</i> (mm)	有効埋込長さ <i>le</i> (mm)	穿孔径 <i>D</i> (mm)
M12	5da	60	60	14
D13	5da	65	65	16

図 2.3.2.1 試験体の形状および寸法

表 2.3.2.2 母材コンクリートの使用材料

材料	記号	仕様
セメント	C	普通ポルトランドセメント(密度：3.16g/cm ³)
水	W	水道水
粗骨材	G	茨城県つくば市産砕石 2005A(表乾密度：2.66g/cm ³)
細骨材	S	茨城県行方産陸砂(表乾密度：2.59g/cm ³)
混和剤	Ad	AE 減水剤標準型 1 種

表 2.3.2.3 コンクリートの調合およびフレッシュ試験結果

打設日	呼び強度	W/C (%)	S/a (%)	単体量(kg/m ³)					スランプ (cm)	空気量 (%)
				C	W	G	S	Ad		
2016.11.24	21	64.1	49.6	281	180	920	881	2.81	18.0	4.5
2016.12.7	21	64.1	49.6	281	180	920	881	2.81	15.5	5.5

表 2.3.2.4 母材コンクリートの強度試験結果

打設日	試験日	材齢(日)	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
2016.11.24	2016.12.14	14	20.6	17.4
	2016.12.22	28	23.7	21.1
2016.12.7	2016.12.22	15	22.3	21.1
	2017.1.4	28	23.8	22.3

表 2.3.2.5 アンカー筋の機械的性質

アンカー筋種類	鋼種	降伏点強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	破断伸び (%)
M12	SNB7*	725 以上	—	860 以上	16 以上
D13	MK785	805	1.66 × 10 ²	986	10.1

* : JIS G 3117 における品質規格値

表 2.3.2.6 接着剤の品質

品質項目	圧縮強さ (N/mm ²)	圧縮弾性率 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
JCAA 製品認証規格値*	98.0 以上	2000 以上	19.6 以上	29.4 以上
エポキシ系	110.0	2220	44.3	67.7
セメント系	62.1	—	—	9.1

試験体の施工は、ハンマードリルにより穿孔した。穿孔時に試験体端部でコーン状の破壊が生じないように専用の治具を用い、母材コンクリートを拘束した状態で穿孔した。この治具により母材に座堀を設けることや穿孔のためにコンクリートを上下に重ねた状態で穿孔することなどが不要になり、試験体製作の効率化が図れる。図 2.3.2.2 に穿孔用治具の形状、写真 2.3.2.1 および写真 2.3.2.2 に供試体セット状況および穿孔状況を示す。アンカー筋の打設は、母材コンクリートの材齢 14 日経過した時点から開始し材齢 21 日までに終了させた。

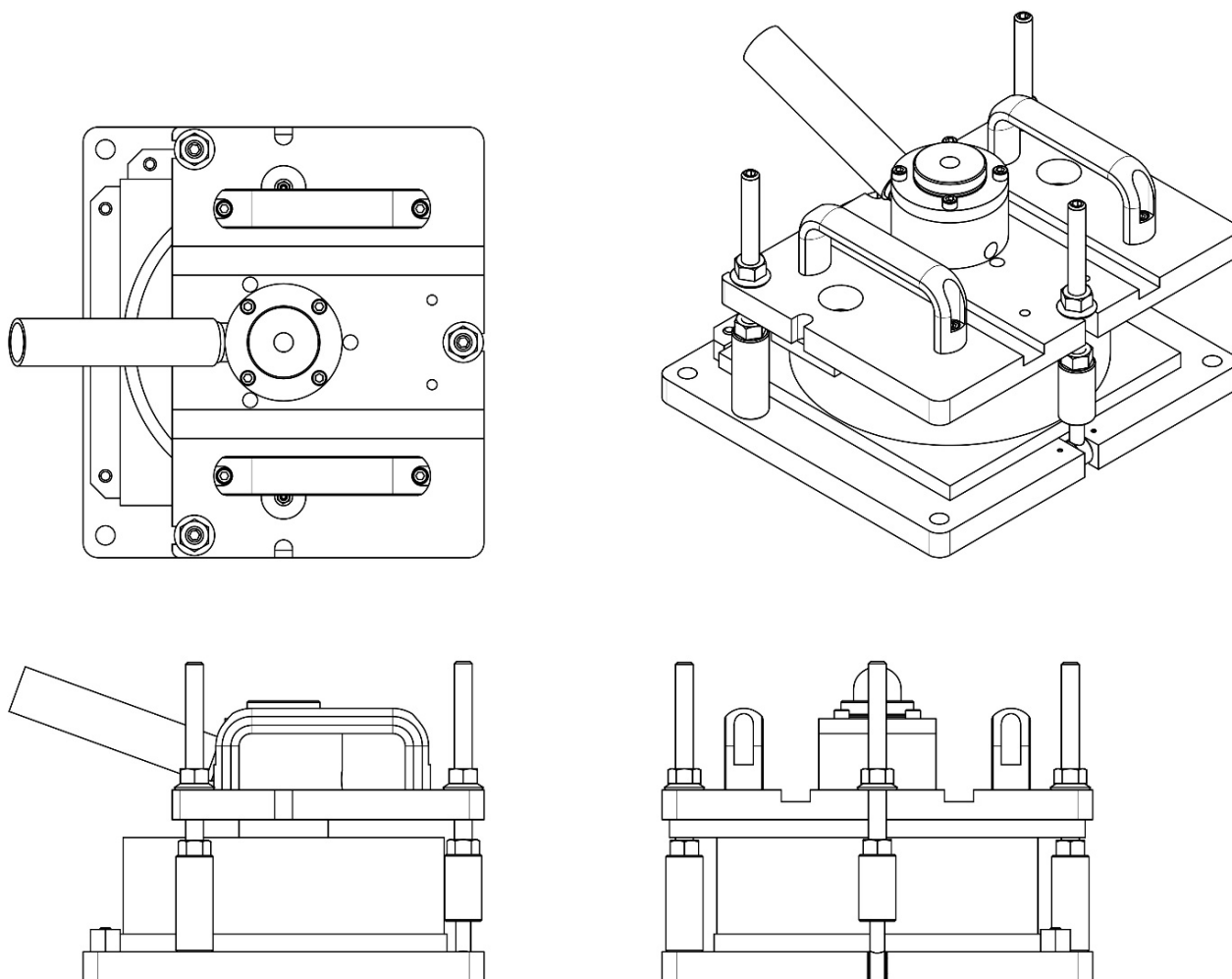


図 2.3.2.2 穿孔用治具の形状



写真 2.3.2.1 垂直穿孔治具供試体セット状況

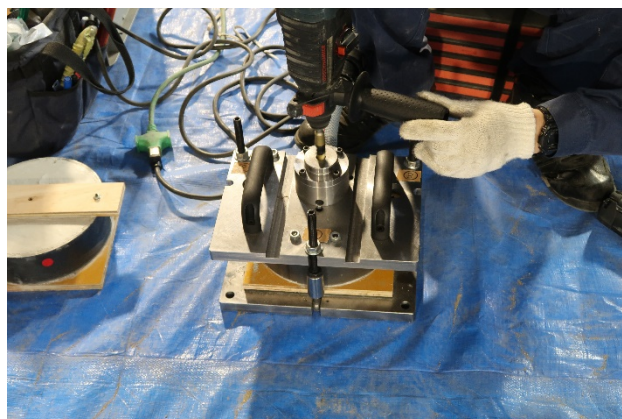


写真 2.3.2.2 穿孔状況

(3) 試験方法

短期クリープ試験は、温度を 20℃および 40℃に調整したチャンバー内で実施した。チャンバー内にクリープ試験用のバネ式载荷治具を持ち込み、変位の直線性を確保するために 10kN 程度まで载荷を 3

回繰り返した後に、荷重レベルまで载荷し、その後の荷重および変位を測定した。クリープ载荷治具を図2.3.2.3に、実験状況を写真2.3.2.3に示す。

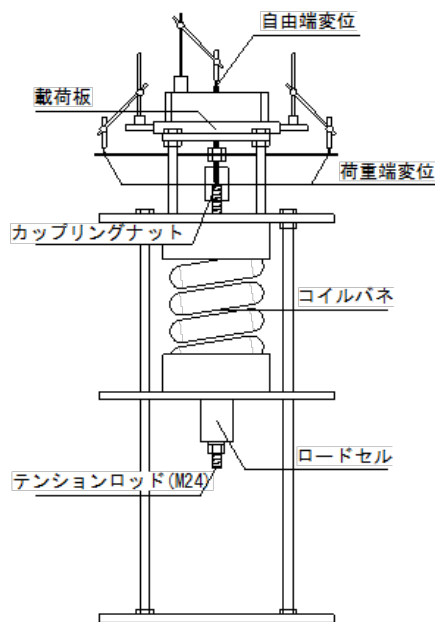


図 2.3.2.3 クリープ加力治具



写真 2.3.2.3 短期クリープ試験の状況

2-3-2-2 長期クリープ試験

前述の短期クリープ試験に対して、本検討では、長期的なクリープ特性を評価するためのクリープ限度以下となる荷重レベルでのクリープ試験を長期クリープ試験と定義する。

(1) 実験の要因と水準

長期クリープ試験に関する実験の要因と水準を表2.3.2.7に示す。また、長期クリープ試験については、平成27年度の検討(2-2-2項)において载荷開始した試験体を継続的に測定している。継続的に測定を行っている水準は、アンカー筋が全ねじで20℃環境において、エポキシ系接着剤およびセメント系接着剤の試験体に対して付着応力 $\tau = 15\text{N/mm}^2$ 相当の荷重で载荷している水準である。

表 2.3.2.7 実験の要因と水準(長期クリープ試験)

No.	アンカー種類	接着剤	環境温度	载荷荷重
1	あと施工	エポキシ樹脂	20℃	長期許容応力度相当($\tau = 3.33\text{N/mm}^2$)
2	あと施工	エポキシ樹脂	20℃	短期許容応力度相当($\tau = 6.67\text{N/mm}^2$)
3	あと施工	セメント系	20℃	長期許容応力度相当($\tau = 3.33\text{N/mm}^2$)
4	あと施工	セメント系	20℃	短期許容応力度相当($\tau = 6.67\text{N/mm}^2$)
5	先付け	—	20℃	短期許容応力度相当($\tau = 6.67\text{N/mm}^2$)
6	あと施工	エポキシ樹脂	40℃	長期許容応力度相当($\tau = 3.33\text{N/mm}^2$)
7	あと施工	エポキシ樹脂	40℃	短期許容応力度相当($\tau = 6.67\text{N/mm}^2$)
8	あと施工	エポキシ樹脂	40℃	材料強度相当($\tau = 15.0\text{N/mm}^2$)
9	先付け	—	40℃	短期許容応力度相当($\tau = 6.67\text{N/mm}^2$)

(2) 試験体

試験体は、短期クリープ試験と同様の試験体とし、アンカー筋はすべて D13 異形鉄筋のものを使用した。

(3) 試験方法

長期クリープ試験は平成 27 年度と同様の方法で実施した。20℃環境は、建築研究所クリープ実験棟において気温 20±2℃、相対湿度 65±5%の環境下で実施した。40℃環境は建築研究所材料実験棟低温実験室の 40℃に調整した恒温恒湿室内で実施した。40℃環境については湿度の調整は行っていない。

加力方法は、短期クリープ試験と同様の方法とした。

載荷は、2017 年 2 月 16 日より開始し、試験材齢 90 日程度の測定を予定している。実験水準 No.5 の先付け試験体と No.8 のエポキシ樹脂試験体は、先行的に 1 月 4 日より載荷開始した。

2-3-3 実験結果

2-3-3-1 短期クリープ試験結果

(1) 実験の要因と水準

短期クリープ試験に先立って実施した付着強度試験(短期載荷試験)における荷重-自由端変位曲線を図 2.3.3.1~図 2.3.3.3 に、付着強度、最大荷重時の変位、自由端変位 0.002D 時の変位を表 2.3.3.1 に示す。試験体は各水準 7 体で、 t 分布による 95%信頼下限値の計算では、自由度 6 として、平均から 1.943σ を引いている。また、短期クリープ試験の結果として、図 2.3.3.4~図 2.3.3.8 に短期クリープ試験における時間-変位曲線を示す。

エポキシ樹脂系では、試験材齢 2 日程度で $0.75\tau_{max}$ 以上の試験体で概ねクリープ破壊が生じているが、セメント系および先付けでは試験材齢 40 日程度でもクリープ破壊は生じていない。よって、以下エポキシ樹脂系の接着剤について検討する。

短期クリープ試験結果における時間-変位関係の全体的な傾向として、クリープ破壊が生じる場合には、載荷後初期には変形量が大きく徐々に変形の色度は低下する。その後概ね一定の割合でクリープ変位が増大し、ある時点を過ぎた点から再び変位が増大が大きくなり、その後急激に変形が進行した後に破壊に至る。図 2.3.3.9 にエポキシ樹脂系における時間-変位曲線をまとめたもの、図 2.3.3.10 にクリープ破壊時の変位の比較を示す。クリープ破壊が生じる時点の変位は、今回の試験体の条件では自由端変位 5~6mm の範囲にあり、短期試験における最大荷重時の変位と比較すると 4~5 倍程度の変位となっている。この結果はこれまでに実施した長期クリープ試験におけるクリープ破壊時の変位の傾向とも一致している。このように、短期載荷試験とクリープ試験の変形に大きな乖離があるため、ACI 等の現在の考え方を適用した場合に実際のクリープ特性の評価との間にずれが生じることが予想される。

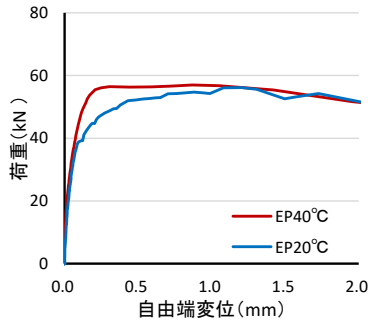


図 2.3.3.1 荷重－変位曲線
(エポキシ樹脂系)

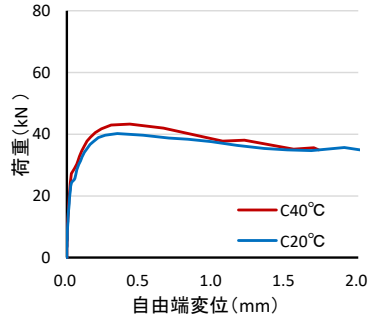


図 2.3.3.2 荷重－変位曲線
(セメント系)

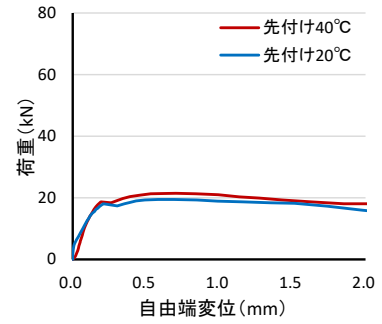


図 2.3.3.3 荷重－変位曲線
(先付け)

表 2.3.3.1 試験結果の一覧(付着強度および最大付着強度時の変位)

水準	アンカー筋種類	埋込み長さ	試験温度	接着剤種類	付着強度(N/mm ²)			最大付着強度時の変位(mm)		
					平均	標準偏差	変動係数	平均	標準偏差	変動係数
1	D13	5da	20°C	EP	24.32	1.77	0.07	1.51	0.28	0.19
2	D13	5da	40°C	EP	23.44	1.18	0.05	1.07	0.52	0.48
3	D13	5da	20°C	C	16.84	1.48	0.09	0.36	0.07	0.18
4	D13	5da	40°C	C	16.14	1.60	0.10	0.46	0.05	0.11
5	D13先付け	5da	20°C	—	8.27	0.10	0.01	0.62	0.10	0.16
6	D13先付け	5da	40°C	—	8.27	0.15	0.02	0.81	0.15	0.19
7	D13	5da	20°C	EP	25.00	1.52	0.06	1.39	0.44	0.31
8	D13	5da	40°C	EP	23.80	2.10	0.09	0.87	0.46	0.52
9	D13	5da	20°C	C	18.16	1.21	0.07	0.45	0.08	0.17
10	D13	5da	40°C	C	15.95	1.04	0.06	0.51	0.11	0.22
11	D13先付け	5da	20°C	—	7.50	0.06	0.01	0.62	0.06	0.09
12	D13先付け	5da	40°C	—	9.39	0.39	0.04	0.56	0.39	0.69

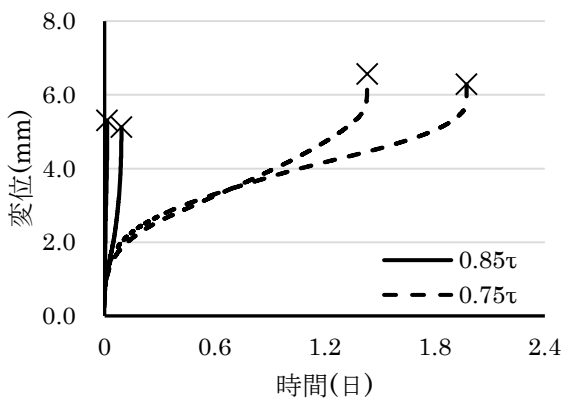


図 2.3.3.4 時間－変位曲線(エポキシ系・20°C)

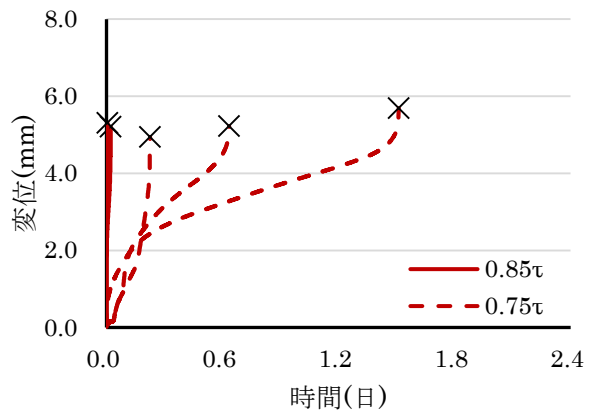


図 2.3.3.5 時間－変位曲線(エポキシ系・40°C)

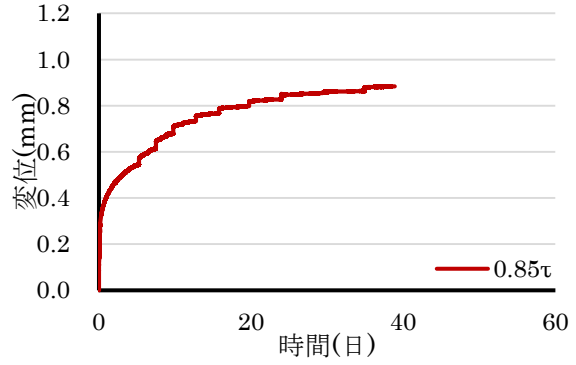
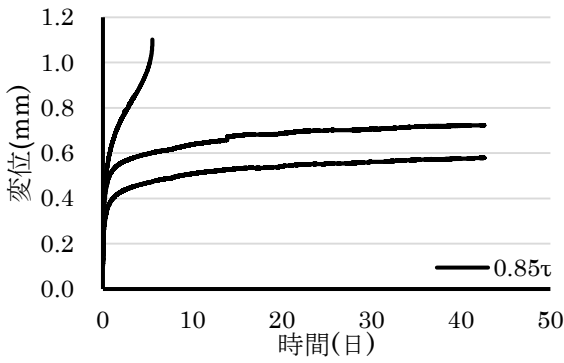


図 2.3.3.6 時間-変位曲線(セメント系・20°C)

図 2.3.3.7 時間-変位曲線(セメント系・40°C)

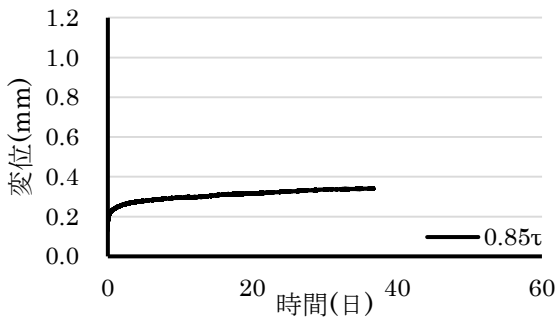


図 2.3.3.8 時間-変位曲線(先付け・20°C)

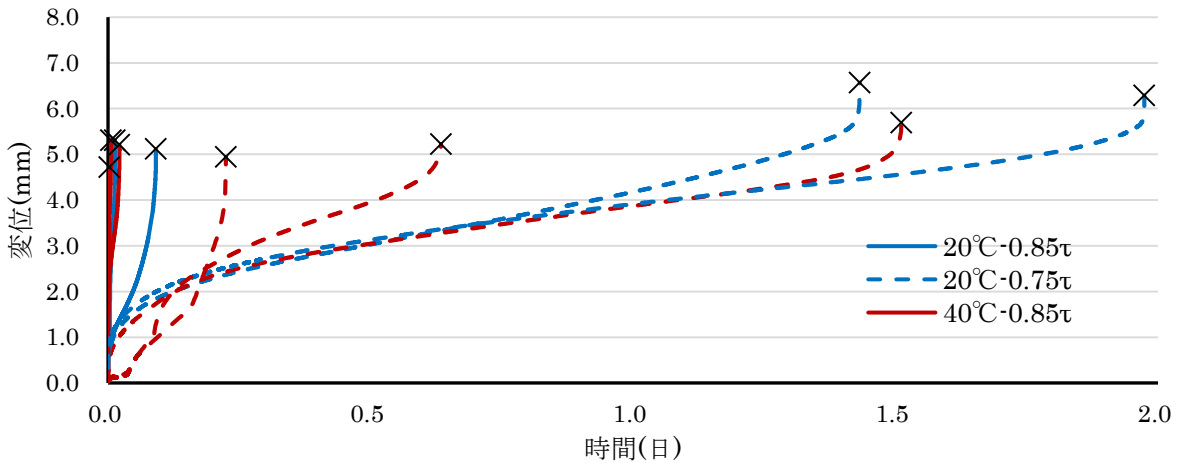


図 2.3.3.9 短期クリープ試験結果(エポキシ樹脂系接着剤)→凡例

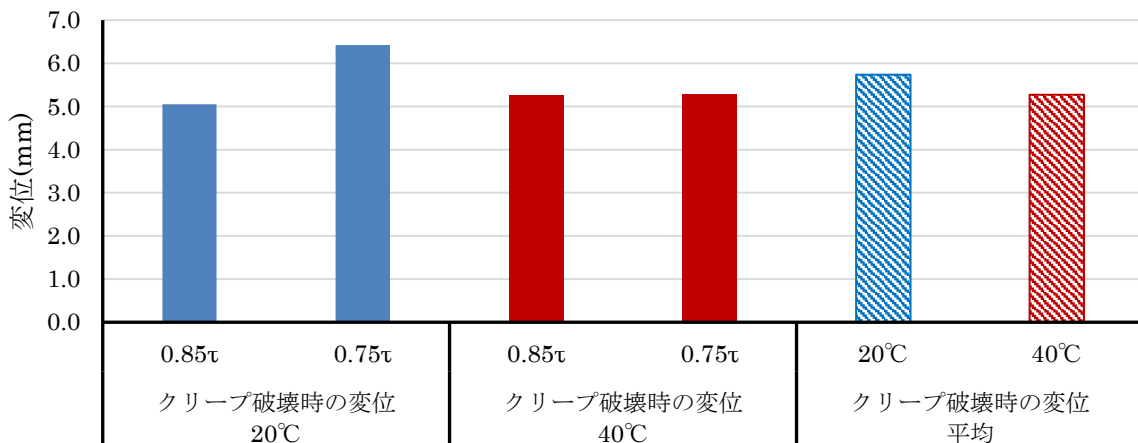


図 2.3.3.10 短期クリープ試験による破壊時の変位の比較(エポキシ樹脂系接着剤)

しかしながら、クリープ破壊時の変位は、一定の変位を超えた後は急激に変形が大きくなっていることや、クリープ破壊は最終的な段階であり、材料の評価を行う際に破壊段階を基準とするのは冗長性の観点からも望ましくないと考えられる。そこで、クリープ変形量が時間的に収束する範囲にあることを目標性能として、その限界となる変位をクリープ限度における変位とし、クリープ変形量はその変位以下であることを目標とすることを検討した。

クリープ限度における変位(時間-変位関係の変曲点)は、クリープ速度(時間あたりの変形量)が最小になる時点の変位として表される。クリープ変形を粘弾性的な性質ととらえた場合には、クリープ速度は時間の経過とともに小さくなり、この変曲点を接着剤内部が粘弾性的性質から部分的な破壊へと内部構造が変化した点として考え、この点をクリープ限度としてとらえることが妥当であると考えた。荷重-変位関係とクリープ速度の図を図 2.3.3.11、図 2.3.3.12 に、各水準のクリープ限度時の変位を図 2.3.3.13 に、短期荷重、クリープ限度時の変位、クリープ破壊時の変位の比較を図 2.3.3.14 に示す。

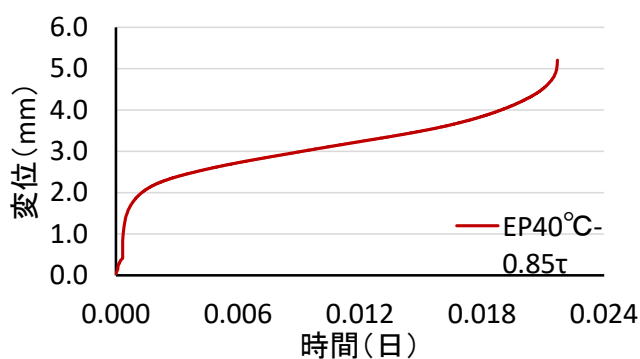


図 2.3.3.11 短期クリープの結果の例
(エポキシ樹脂 40°C・0.85 τ_{max})

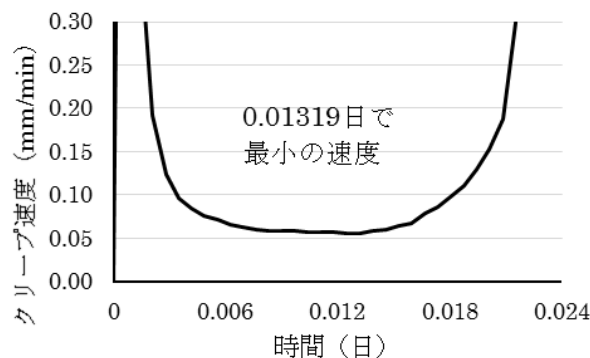


図 2.3.3.12 時間とクリープ速度の関係の例
(エポキシ樹脂 40°C・0.85 τ_{max})

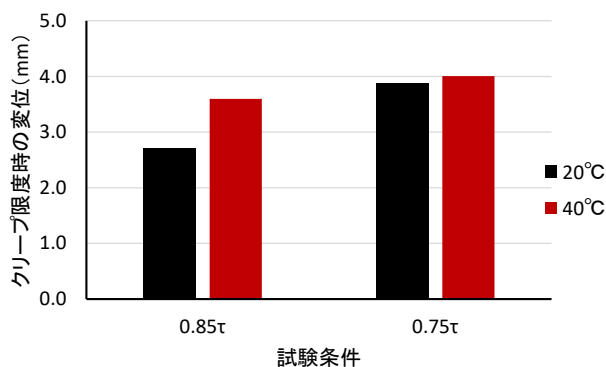


図 2.3.3.13 クリープ限度における変位

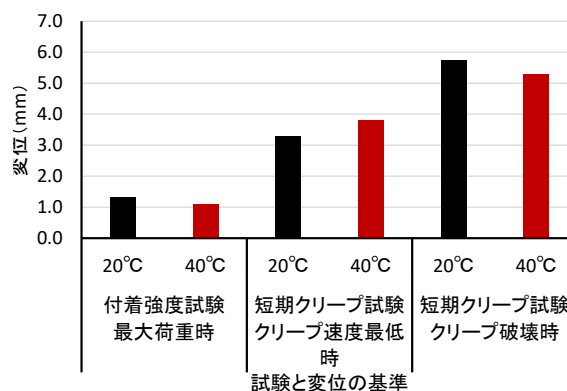


図 2.3.3.14 各試験における変位の比較

(2) クリープ限界時の変位を考慮したクリープ特性の評価方法の提案

これまでの検討から、クリープ特性の評価においては、評価の対象となる樹脂や温度条件において長期荷重の条件でのクリープ限度となる変位(δ_{lim})を求め、これによってクリープ特性の評価を行うことができると考える。

ここに、従来の考え方(短期荷重試験における最大荷重時変位を基準とした場合)とクリープ限度時の変位を基準とした場合のクリープ変位の評価結果について比較し、妥当性を論じる。

本研究で提案したクリープ限度における変位は図 2.3.3.14 に示したように、クリープ限度における

変位は、付着強度試験で得られた変位より、エポキシ樹脂は2～3倍の変形量を示した。よって、短期クリープ試験を行っていない長期クリープ試験についても、あと施工アンカーが長期のクリープ変形中に破壊に至る変形が2倍程度であると仮定し、破壊に至るまでの時間がどのように変化するかを検討した。上記の方法で行った場合の実測値と破壊変位の比較を図2.3.3.15に示し、破壊が推定される時間の比較を表2.3.3.2に示す。なお、変位の推測はべき乗を用いる既往の推定式(2.3.2.1)式で行った。

エポキシ樹脂の接着剤については、新しい評価方法では既往の評価方法と比較し破壊に至るまでの時間が11.97～13.39倍延びた。この時に破壊に至るまでの時間が100年を超えることを指標に安全性を評価する。

セメント系の接着剤については、既往の方法で評価すると約1～8カ月で破壊に至ると推測されるが、実際には350日以上計測を行っている間は破壊に至っていない。新しい評価方法では破壊するまでの時間が大きく延びているが、適切に推測できているかは明確ではないが、既往の方法よりは現実的に評価できている可能性がある。安藤らの研究^{2.17)}では、セメント系の接着剤に対しては、JISに示されているクリープ式((2.3.3.1)式)を適用した方が合理的であるとの報告もある。セメント系の接着剤に対してはJISのクリープ式を用いてクリープ変形を推測し、破壊変位は短期クリープ試験で得られた限界クリープ時(クリープ速度が最小となる時点)の変位で評価を行う方法も提案される。

$$\mu = A \cdot \log_e(t+1) + B \tag{2.3.3.1}式$$

ここで、

t : 載荷後の時間

A, B : 実験で得られる定数

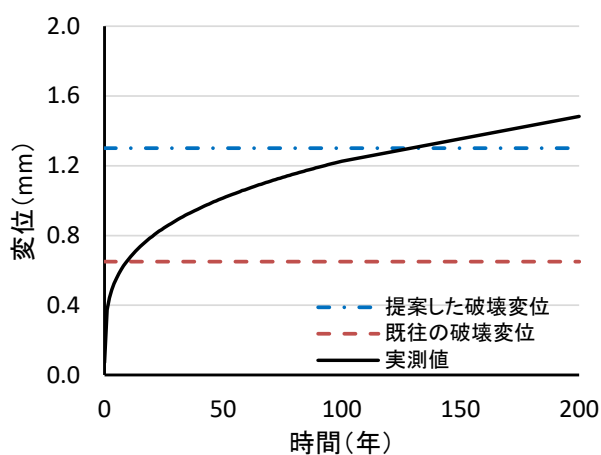


図 2.3.3.15 実測値と破壊変位の比較の例 (エポキシ樹脂)

表 2.3.3.2 破壊変位の違いによる
破壊が推定される時間の比較

	破壊が推定される時間(年)	
	既往の方法	新しい評価方法
EP1	9.25	123.93
EP2	16.18	193.69
C1	0.64	13.29
C2	0.08	2.31

2-3-3-2 長期クリープ試験結果

(1) クリープ予測式に関する検討

平成28年度の検討として、まず長期のクリープ変位を予測するための予測式についての検討を行う。ACIおよびETAGにおける持続荷重に対する評価は、(2.3.2.1)式に示したべき乗式で予測が行われている。べき乗式については、試験材齢10年程度までのクリープ試験の結果に対して安全側の予測となることが示されている。本年度の検討では、約1年間のクリープ試験の結果について、クリープ予測式の適用性について確認を行った。ここで比較検討を行った推定式は、べき乗式((2.3.3.2)式として再掲)とレオロジーモデルを適用した式である。

$$S(t) = S(0) + a \cdot t^b \tag{2.3.3.2式}$$

ここで、

$S(t)$: 時間 t における変位

$S(0)$: 載荷直後における変位

t : クリープ開始後の時間

a, b : 実験によって最小二乗法により定める定数

レオロジーモデル式の考え方を以下に示す。

レオロジーモデルとは、バネ(剛性)やダッシュポット(粘性)の要素を組み合わせることにより、粘性流体や粘弾性体の流動、クリープ、応力緩和現象などを説明するためのモデルである。クリープ現象を表すモデルとしては、バネとダッシュポットを直接に配置した2要素モデル(Maxwellモデル)、これらを並列に配置した2要素モデル(Voigtモデル)が基本である。MaxwellモデルやVoigtモデルのみでは、クリープ現象を全般的に説明することは難しく、プラスチックや樹脂等の粘弾性的な性質を表す場合には、両者を組み合わせた4要素モデル(Burgersモデルとも呼ばれる)で表されることが多い。図2.3.3.16にVoigtの4要素モデルの模式図と図2.3.3.17に4要素モデルに一定応力が与えられた場合および除荷された場合の時間-変位曲線を示す。

ここでは、あと施工アンカーの接着剤に作用する応力状態をせん断応力とせん断ひずみの関係として取り扱い、モデルにおける G_1 および G_2 はせん断弾性(ずり弾性)係数を表す要素、 η_2 および η_3 はせん断粘性(ずり粘性)係数を表す要素となる。

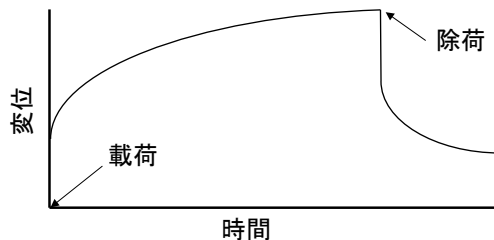
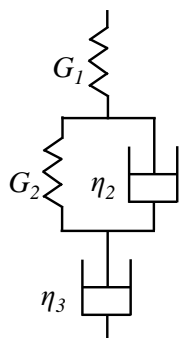


図 2.3.3.16 Voigtの四要素モデル

図 2.3.3.17 四要素モデルの載荷および除荷後の変形

このモデルについて応力とひずみ・ひずみ速度の関係を整理する。せん断ひずみを γ として、モデルの各部分に生じるひずみをそれぞれ、 γ_1 、 γ_2 、 γ_3 すると、 γ は(2.3.3.3)式で表される。また、モデルの各部分に生じている応力は等しいので、応力とひずみの関係は(2.3.3.4)式から(2.3.3.6)式で表される。

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 \quad (2.3.3.3)式$$

$$S = G_1 \gamma_1 \quad (2.3.3.4)式$$

$$S = G_2 \gamma_2 + \eta_2 \frac{d\gamma_2}{dt} \quad (2.3.3.5)式$$

$$S = \eta_3 \frac{d\gamma_3}{dt} \quad (2.3.3.6)式$$

ここで、

- S : せん断応力
- $\gamma, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$: せん断ひずみ
- G_1, G_2 : ずり弾性係数
- η_2, η_3 : ずり粘性係数

ここで、時間 $t=0$ において、 $\gamma_0=0$ として微分方程式を解くと、せん断ひずみ γ は(2.3.3.7)式で表される。 λ は遅延時間として表されるもので、クリープ変形により一定の割合まで変形する時の時間である。これが大きいということは、より固体的な性質、小さいということは粘性体的な性質を示す指標となる。また、セメント系については、(2.3.3.8)式に示した JIS A 1157 に示されるクリープ予測式(以下 JIS クリープ式と記す)が適用できることも提案されている。

$$\gamma(t) = S \left\{ \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} (1 - e^{-t/\lambda_2}) + \frac{t}{\eta_3} \right\} \quad (2.3.3.7)式$$

ここで、

- S : せん断応力
- γ_0 : 初期弾性ひずみ
- t : 時間
- λ_2 : 遅延時間($=\eta_2/G_2$)

$$\eta_{est} = A \cdot \log_e(t+1) + B \quad (2.3.3.8)式$$

ここで、

- η_{est} : クリープひずみの予測値
- t : 載荷後の材齢
- A, B : 実験で定まる定数

今回の検討では、これらのべき乗式とレオロジー式の両者について、平成 27 年度(2-2-2 項)から実施し、約 350 日を経過しているクリープ試験結果に適用し、その適用性を確認した。

図 2.3.3.18 にエポキシ樹脂における予測結果、図 2.3.3.19 にセメント系における予測結果を示す。環境温度は 20℃、載荷荷重は $\tau=15\text{N/mm}^2$ 相当である。エポキシ樹脂の推定式にはべき乗式とクリープモデル式、セメント系については、それらに加えて JIS クリープ式を適用させている。いずれの式も載荷後 70~90 日のクリープ変形量を外挿し、最小二乗法により推定したものである。

既往の式によるクリープ変形の推定は、試験体 2 本のうち変形量の小さい試験体のクリープ変形は推測による変形と概ね一致しているが、変形量の大きい試験体のクリープ変形は一致しているとはいえず予測値の変位が小さくなっているが、これは実測値の方が若干変位が大きめにずれていることが原因であると考えられる。

一方、レオロジーモデルによるクリープ変形の推定は、エポキシ樹脂およびセメント系の接着剤の長期クリープの実測値より大きく変形している。その理由としては、4 要素モデルにおける終局のひずみが時間 t を η_3 で除した値に左右されるため、外挿したデータの範囲では η_3 の値を適切に推定できていないことにある。 η_3 の値を実験値から適切に推定するためには、図 2.3.3.17 に示す除荷後の残留ひずみの値から推定する必要がある、クリープ試験終了後に除荷した後の変位を継続的に測定する必要がある。

セメント系におけるべき乗式とレオロジーモデル式、JIS クリープ式の比較は、JIS クリープ式が最も実測値と一致しており、安藤らの研究と同様の結果が得られた。したがって、セメント系については JIS クリープ式の適用も有効であると考えられる。

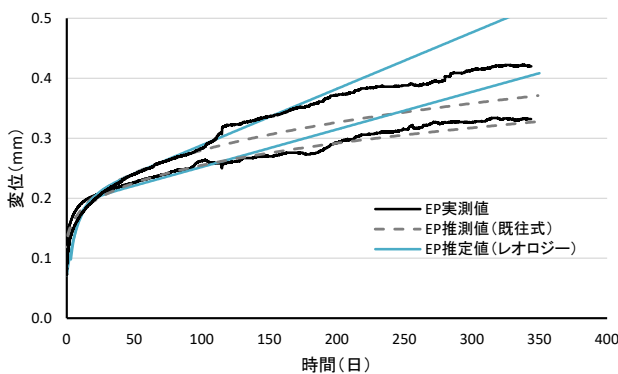


図 2.3.3.18 クリープ変形の推測と実測値の比較
(エポキシ樹脂)

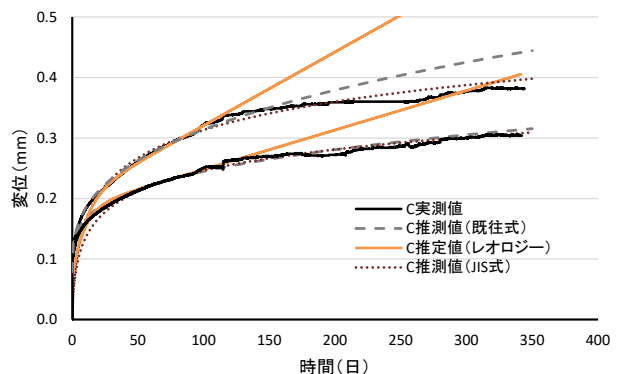


図 2.3.3.19 クリープ変形の推測と実測値の比較
(セメント系)

(2) レオロジーモデルによる試験時温度の影響の評価

レオロジーモデルを適用することの目的は、樹脂の温度依存性等の粘弾性的性質の評価について物理的な現象として説明を可能にできる点にある。例えば、弾性や粘性などに関する物性値の温度依存性を評価することによって、変動温度条件下でのクリープ変形を予測することなどに適用が可能である。現時点では長期のクリープの予測のための終局クリープひずみに関する粘性係数 η_3 が正しく評価できていないため、長期の予測ではクリープ変位にずれが生じることが分かっている。ここでは、温度依存性を評価するための基礎的検討として、レオロジーモデルによって得られる各種物性値について検討を行った。

レオロジーモデルによって得られたクリープ変形の近似曲線を図 2.3.3.20 および図 2.3.3.21 に示す。またその時に得られた弾性係数 G_1 、 G_2 および粘性係数 η_2 、 η_3 を表 2.3.3.3 に示す。

いずれの温度においてもレオロジーモデルによって得られたクリープ変位は、クリープ試験の実測値をよく表しており、測定期間の範囲においてはこのモデルが適用できると判断できる。また、レオロジーモデルから各種粘弾性特性値が得られている。弾性係数 G_1 についてはどの温度についても同程度の値を示し、温度の影響はみられなかった。粘性係数は、温度に大きく依存し、温度が上昇するほど粘性係数が低下し変形が大きくなること表している。一方、無機系の接着剤は温度による影響はみ

られなかった。

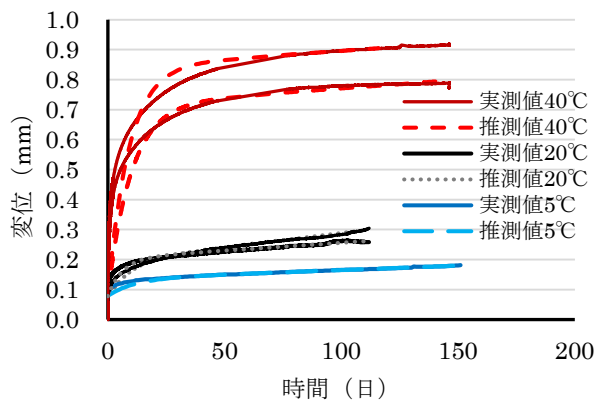


図 2.3.3.20 レオロジーモデルによる近似曲線 (エポキシ樹脂)

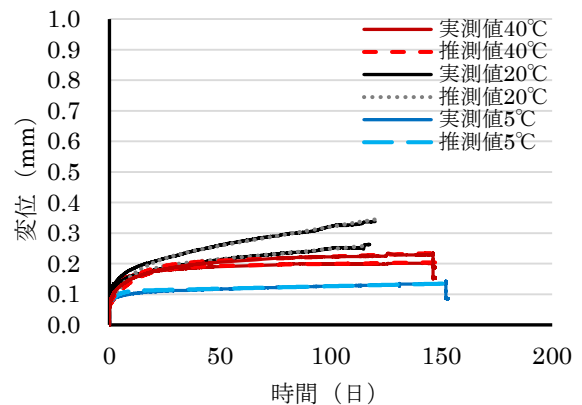


図 2.3.3.21 レオロジーモデルによる近似曲線 (セメント系)

表 2.3.3.3 温度と粘弾性特性値の関係

接着剤	粘弾性特性値	環境温度		
		5℃	20℃	40℃
エポキシ樹脂	G_1 (kN/mm ²)	0.186	0.190	0.177
	G_2 (kN/mm ²)	0.260	0.119	0.022
	η_2 (kN·day/mm ²)	2.934	1.013	0.230
	η_3 (kN·day/mm ²)	49.766	15.552	17.495
	λ (day)	11.285	8.513	10.455
セメント系	G_1 (kN/mm ²)	0.209	0.208	0.223
	G_2 (kN/mm ²)	0.378	0.125	0.117
	η_2 (kN·day/mm ²)	1.247	1.228	1.236
	η_3 (kN·day/mm ²)	91.025	17.498	104.288
	λ (day)	3.295	9.827	10.599

粘弾性特性値について、温度との関係を整理したものを図 2.3.3.22～図 2.3.3.25 に示す。一般的に、有機系の材料については温度と粘性の関係は、(2.3.3.9)式に示すようなアンドレードの式が適用される。本実験の結果からも、図中に示すように、 η_2 および η_3 について対数関数で近似されるような(2.3.3.10)式および(2.3.3.11)式が得られている。また、 G_2 についても(2.3.3.12)式のような近似式が得られている。 G_1 については、初期弾性ひずみから求められる。

$$\eta = B \cdot \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \quad (2.3.3.9)式$$

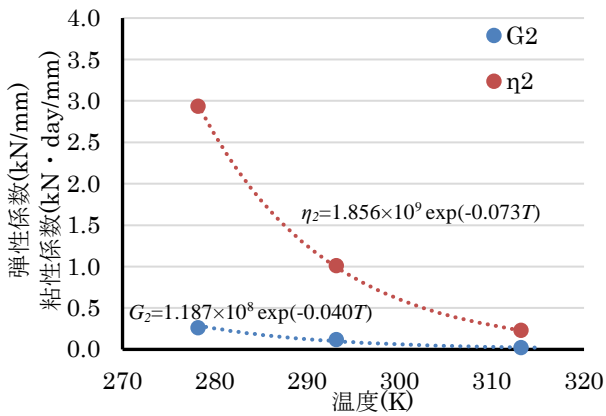
ここで、

η : 粘性係数(Pa・s) E : 活性化エネルギー(J/mol)
 B : 定数 R : 気体定数(8.31J/(kmol)) T : 絶対温度(K)

$$\eta_2 = 1.856 \times 10^9 \exp(-0.073T) \quad (2.3.3.10)式$$

$$\eta_3 = 2.529 \times 10^6 \exp(-0.040T) \quad (2.3.3.11)式$$

$$G_2 = 1.187 \times 10^8 \exp(-0.071T) \quad (2.3.3.12)式$$



2.3.3.22 G_2 および η_2 と温度の関係 (エポキシ樹脂)

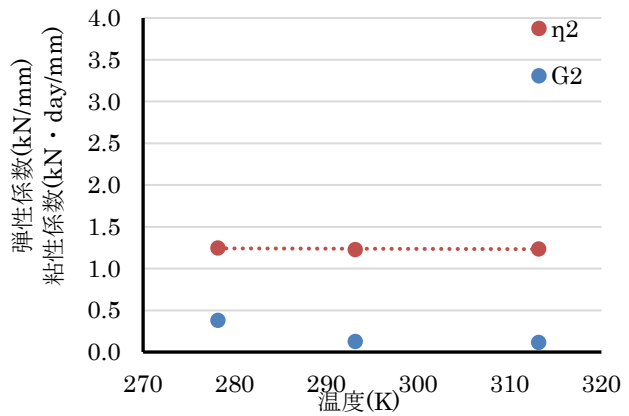


図 2.3.3.23 G_2 および η_2 と温度の関係図 (セメント系)

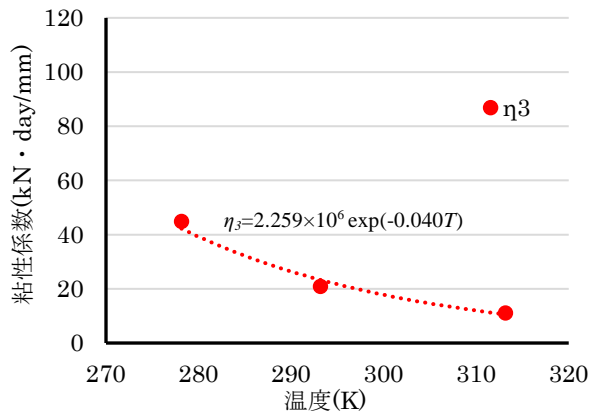


図 2.3.3.24 η_3 と温度の関係 (エポキシ樹脂)

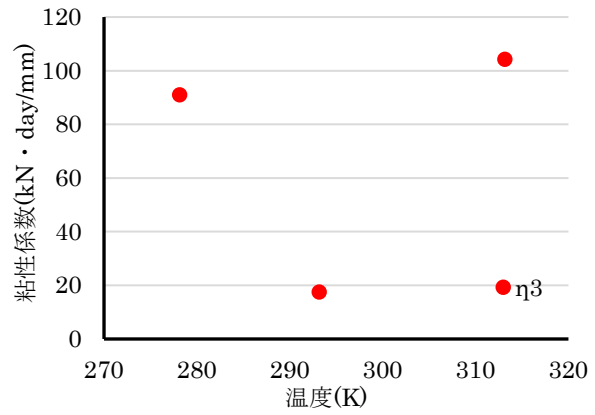


図 2.3.3.25 η_3 と温度の関係 (セメント系)

このような関係が得られれば、任意の温度に対する粘弾性特性値が得られることになり、クリープ変形の予測が可能になる。例として、30℃環境でのクリープ変形を予測した例を図 2.3.3.26 に示す。また、変動する温度条件下でのクリープ変形量の予測も可能になると思われる。

ただし、前述のように、現時点では終局クリープひずみに対応する η_3 の値が適切に得られていない可能性があり、長期的なクリープ変位の予測には至っていない。

一方、セメント系の接着剤については、粘性係数に温度依存性は見られず、このような適用はできないが、セメント系については温度依存性が小さいため、その点は問題にならないと思われる。

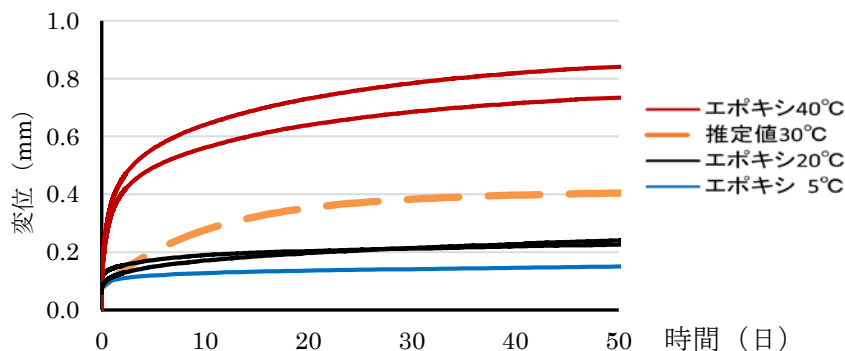


図 2.3.3.26 30℃におけるクリープ変形の予測結果(エポキシ樹脂)

(3)長期クリープ試験結果

平成28年度に荷重開始したクリープ試験を示す。早期に荷重を開始したエポキシ樹脂の20℃および40℃の短期許容応力度相当、先付けアンカーの20℃および40℃の短期許容応力度相当の水準の途中経過について、図2.3.3.27および図2.3.3.28に示す。

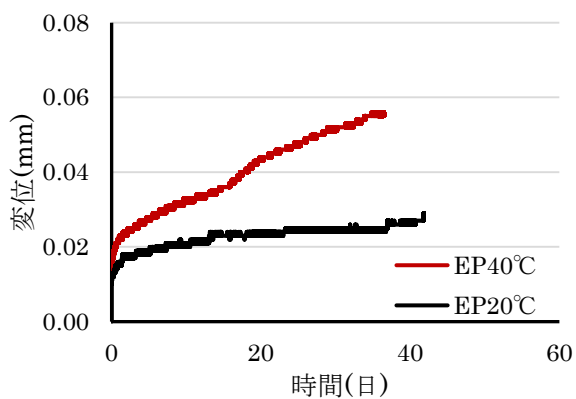


図 2.3.3.27 クリープ試験結果
(エポキシ樹脂, 20℃・40℃)

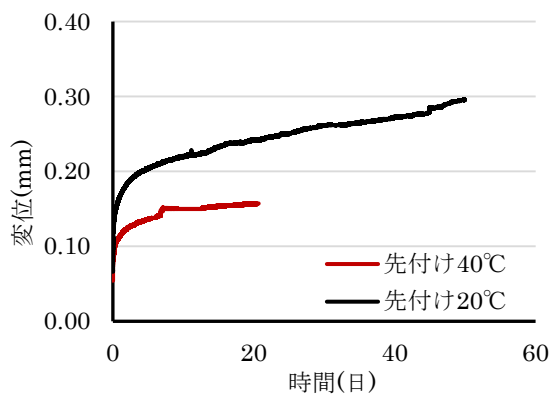


図 2.3.3.28 クリープ試験結果
(セメント系, 20℃・40℃)

2-4 クリープ試験（平成 29 年度実施）

2-4-1 検討概要

2-4-1-1 検討の目的

接着系あと施工アンカーのクリープ試験方法については、既往の検討の結果を踏まえ、平成 27 年度の検討において、加力および計測の方法、環境(温度)の影響について検討を行い、試験方法の基本的な部分を検討した。また、平成 28 年度の検討に於いて、クリープ破壊時の変位に関する検討を行い評価基準等に関する検討を行った。クリープ限界を変位が時間とともに大きくなる時の変位の変曲点における変位として求め、その変位は、これまで評価の基準としてきた最大荷重時の変位と比較すると 3~5 倍程度の相当に安全側の変位となっていることが明らかとなった。これらを踏まえて、平成 28 年度の報告書において、クリープ試験方法の原案を提案し、標準的には長期許容応力度相当の荷重を載荷し、20℃および屋外での使用を想定した 40℃の条件で試験を行うこと、持続荷重に対する限界等のポテンシャルの性能を評価したい場合には、基準付着強度レベル(例えば、 $\tau=15 \text{ N/mm}^2$ 相当)で載荷し、クリープ限界における変位を基準として評価を行うことなどを提案した。

平成 29 年度においては、提案された試験方法に従って試験を実施し、試験の可否やばらつきに関する載荷試験を行い、性能評価試験方法として提案する内容の詳細について検討することとした。また、平成 27 年度の検討において載荷を開始した長期のクリープ試験のデータについても評価を行った。

2-4-1-2 実験概要

(1)実験の要因と水準

平成 29 年度における実験の要因と水準を表 2.4.1.1 に示す。平成 29 年度の実験では、実際に試験が可能であるかの確認とばらつきとその要因、程度の把握を目的としている。また、平成 28 年度までに実施した実験のデータを補完するための 40℃環境での実験、載荷荷重が大きくなった場合の状況の把握のための実験を行った。

表 2.4.1.1 平成 29 年度のクリープ試験の水準

No.	アンカー筋	接着剤	載荷荷重 (N/mm^2)	試験温度	載荷治具*	目的
1	異形	C	$\tau=3.3$	20℃	新規改良型	基整促提案(H28 補完)
2	異形	EP	$\tau=3.3$	20℃	基整促改良型	基整促提案(ばらつき評価)
3	異形	EP	$\tau=3.3$	20℃	〃	〃
4	異形	EP	$\tau=3.3$	20℃	〃	〃
5	異形	EP	$\tau=3.3$	20℃	H20 基整促型	〃(+治具の影響)
6	異形	EP	$\tau=3.3$	40℃	基整促改良型	基整促提案(H28 補完)
7	異形	EP	$\tau=5.0$	20℃	新規改良型	荷重-変形関係評価
8	異形	C	$\tau=5.0$	20℃	〃	〃
9	異形	EP	$\tau=15.0$	40℃	〃	〃

*H20 基整促型：平成 20~22 年度の基整促課題において検討された載荷用治具

基整促改良型：平成 23 年度の建築研究所研究課題において上記治具を改良し剛性を向上させた治具

新規改良型：上記建築研究所課題において、剛性向上と載荷板の水平な動きのための改良を行った治具

(2)試験体

試験体は、これまでの検討と同様のものを用いた。試験体の形状および寸法を図 2.4.1.1 に示す。

母材コンクリートは、平成 28 年度にコンクリート打設を行ったものを用いた。コンクリートの呼び強度は 21、スランプ 18 cm、目標空気量 4.5%で、JIS A 5308 の規定に適合したコンクリー

トとした。これを内径 200 mm の鋼管の内部に打ち込んだものを母材コンクリートとした。コンクリート強度は、材齢 28 日で 23.7 N/mm²、アンカー施工時(材齢約 10 ヶ月)において 28.5 N/mm²であった。

アンカー筋についてもこれまでと同様に、高強度(MK785)の異形鉄筋(D13)を用いた。アンカー筋の機械的性質を表 2.4.1.2 に示す。

アンカーに使用した接着剤もこれまでの検討で使用している製品であり、カートリッジ式の注入方式でエポキシ樹脂系の製品およびセメント系の注入方式の製品を用いた。接着剤の品質を表 2.4.1.3 に示す。

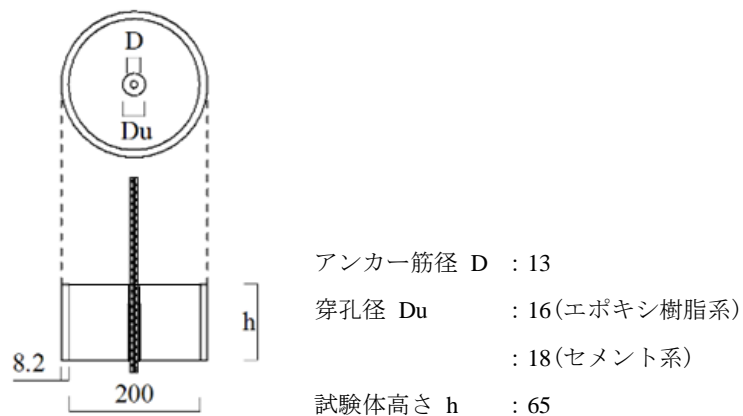


図 2.4.1.1 試験体の形状および寸法(単位: mm)

表 2.4.1.2 アンカー筋の機械的性質

アンカー筋種類	鋼種	降伏点強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	破断伸び (%)
D13	MK785	805	1.66×10 ²	986	10.1

表 2.4.1.3 接着剤の品質

品質項目	圧縮強さ (N/mm ²)	圧縮弾性率 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
エポキシ樹脂系	110.0	2220	44.3	67.7
セメント系	62.1	—	—	9.1

(3) 試験装置および試験方法

試験装置は、これまでの実験に使用したものと同様のものを用いているが、表 2.4.1.1 の注記に示したとおり、3 種類の治具を使用してその影響を比較することを検討した。付着試験に使用した試験治具の形状を図 2.4.1.2 に、クリープ試験の載荷治具の形状を図 2.4.1.3 に示す。また、写真 2.4.1.1～2.4.1.3 に実験で使用している 3 種類の治具を示す。

クリープ試験は、(国研)建築研究所において行った。20℃環境は、建築材実験棟恒温恒湿室 1、40℃環境は、材料環境実験棟内に設置された恒温恒湿室を使用した。付着強度試験は、複合材料実験棟で行った。試験時の温度は 20±3℃の環境で行った。

載荷方法は、これまでの検討と同様に、試験体を載荷治具にセットした後、目標となる載荷荷重の 1/3 程度の荷重までの載荷と除荷を 3 回繰り返し治具と試験体のなじみを持たせた上で目標荷重より 5%程度大きい荷重を初期荷重として載荷した。載荷後は、荷重および自由端変位を 1

カ月後までは10分間隔、以降は30分間隔で計測した。

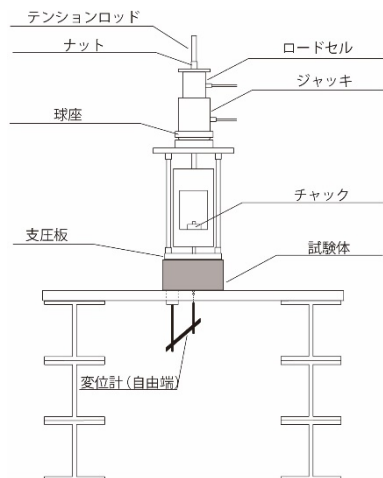


図 2.4.1.2 付着試験の荷重治具

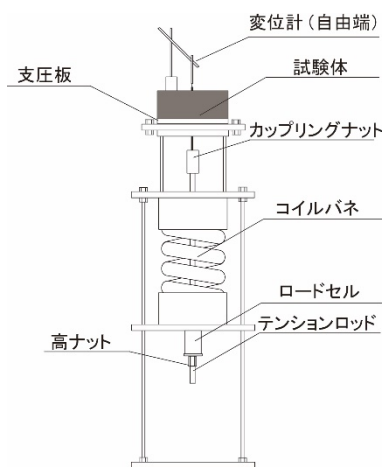


図 2.4.1.3 クリープ試験の荷重治具



写真 2.4.1.1 クリープ試験治具 (H20 基整促型)



写真 2.4.1.2 クリープ試験治具 (基整促改良型)



写真 2.4.1.3 クリープ試験治具 (新規改良型)

2-4-2 実験結果および考察

2-4-2-1 試験環境

図 2.4.2.1 に 20℃環境における温湿度の経時変化, 図 2.4.2.2 に 40℃環境における温湿度の経時変化を示す。図に示すとおり, 湿度については, 日変動および試験期間中に徐々に低下している。20℃環境では, 試験期間中の平均温度は 20.4℃, 平均湿度は 45.8%Rh であった。40℃環境は, 荷重開始後 60 日経過後に装置の恒温恒湿槽の故障により温湿度環境が変化した。60 日までの平均温度 39.8℃, 平均湿度 7.2%Rh であった。

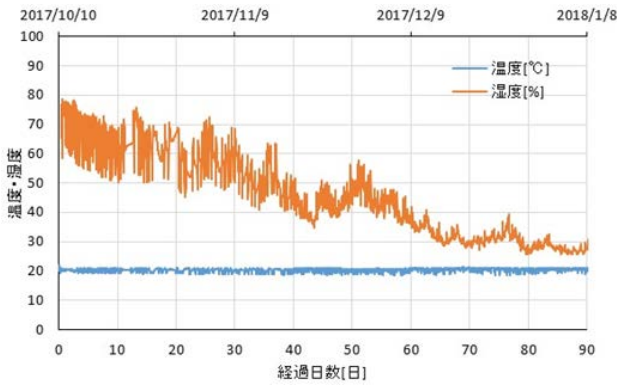


図 2.4.2.1 20℃環境における温湿度の経時変化

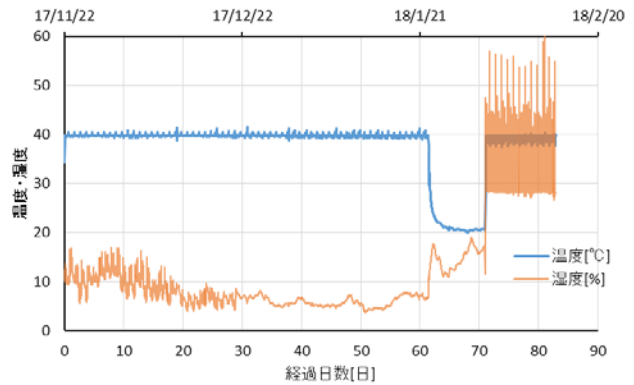


図 2.4.2.2 40℃環境における温湿度の経時変化

2-4-2-2 クリープ試験結果のばらつきに関する検討

平成 28 年度までの検討では、クリープ試験に供する試験体数は 1 水準につき、1 体ないし 2 体として実験を行っていたが、本課題で提案する性能評価試験方法案では、試験体数は 5 体を標準として検討を行っている。そこで、同一水準でクリープ試験を行った場合に試験結果のばらつきがどの程度になるのかを把握し、その適切な処理の方法について検討を行った。

ばらつきを検討する水準は、表 2.4.1.1 に示した水準のうち、No.2～No.5 の 4 体である。なお、No.5 はその他の 3 体とは荷重治具が異なる。目標載荷荷重は、 $\tau=3.3 \text{ N/mm}^2$ 相当であり、D13×65 mm の場合、8.8 kN である。また、付着強度の平均は 20.13 N/mm^2 、試験体数量は 5 本であるので 95% 信頼下限値は 18.08 N/mm^2 、最大荷重時の変位の平均は $1,219 \mu\text{m}$ であった。

図 2.4.2.3 に荷重期間中の荷重の経時変化、図 2.4.2.4 に自由端変位の経時変化を示す。図 2.4.2.4 の図中には、平均の変位として、すべての試験体の平均と No.5 を除いた平均の変位もあわせて示している。

載荷荷重は、載荷期間中に若干の低下はあるものの、いずれの試験体でも荷重で 0.2 kN 程度の低下であり、2～3%の低下に収まっている。試験体間の荷重変動にも大きな差異はない。自由端変位は試験体によって異なっており、No.2～No.4 の試験体については荷重開始後 40 日を経過した時点で変位の伸びがなくなっている。この理由は明らかではないが、載荷荷重が小さく付着強度の 10～15%程度の載荷となっているため、クリープ変形が小さいのがその理由の一つであろう。No.5 については荷重開始直後より自由端変位の伸びが見られない。載荷荷重も低下しているもののその低下の程度は小さく、荷重の低下によるものとは考えにくい。このような結果を含んだ平均の結果で評価を行うと、危険側の判断をする恐れもあり、少なくとも、変位が小さくなるような結果については、試験結果を棄却することが適当であると考えられる。

図 2.4.2.5 にクリープ試験の結果から、(2.4.2.1)式により変位の長期予測を行った結果を示す。No.5 を含む場合と含まない場合の長期予測結果を示している。

$$S(t) = S_0 + a \cdot t^b \quad \dots\dots\dots (2.4.2.1) \text{式}$$

ここで、 $S(t)$: t 時間経過後のクリープ変位 t : 経過時間
 S_0 : 載荷直後の変位(弾性変形) a, b : 実験により得られる定数

変位の平均の方法については、1 体の試験結果ごとに(2.4.2.1)式中の定数を求め、 S_0 と実験定数(a, b)の値の平均として求める場合と、あらかじめ変位の平均を求めておき、 S_0 の平均と 1 組の実験定数を得る場合とで比較した。1 体の試験結果がクリープ変形の伸びが停滞してしまう場合(No.2,

No.4)には、 b の値が0になってしまうため、あらかじめ変位の平均を求めておき、その平均変位で実験定数を求めるのが適当であると判断した。また、ACI 基準等では、試験中に最も大きい変位となる試験体について基準となる変位(例えば、最大荷重時の変位)の1.2倍を超えないことという規定が加えられている。現在検討している評価方法における載荷荷重のレベルは、あと施工アンカーの付着強度に対して小さく、クリープ試験の結果の評価には相当の余裕があることなども考えると、安全側の評価として各試験体の結果のうち、最大の変位を示すものについて評価を行うことが考えられる。

また、最大値による評価を行う場合、少なくとも複数やそれ以上の試験体の数量を確保する必要があり、適正な荷重が出来ていない試験結果や、弾性変形量よりもクリープ試験後の変位が小さくなる試験体の結果については棄却した上で、3体程度以上の試験結果が必要であると考えられる。

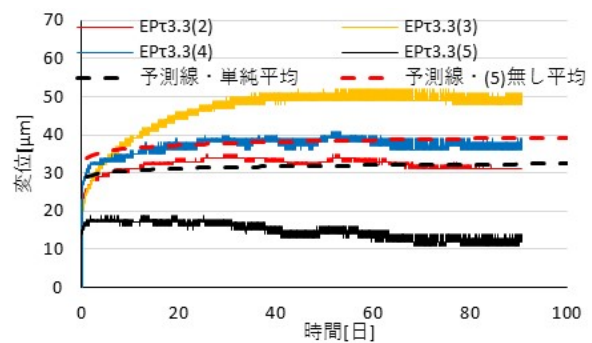
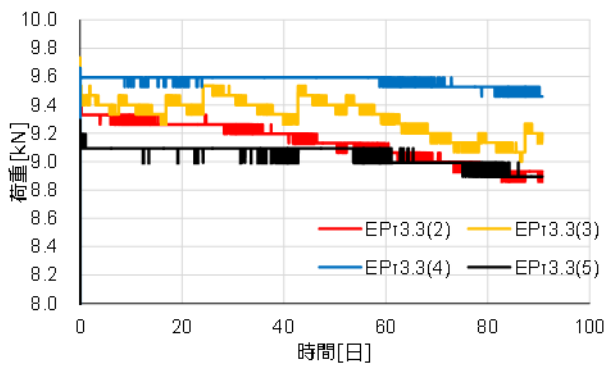


図 2.4.2.3 載荷荷重の経時変化 (No. 2～No. 5) 図 2.4.2.4 自由端変位の経時変化 (No. 2～No. 5)

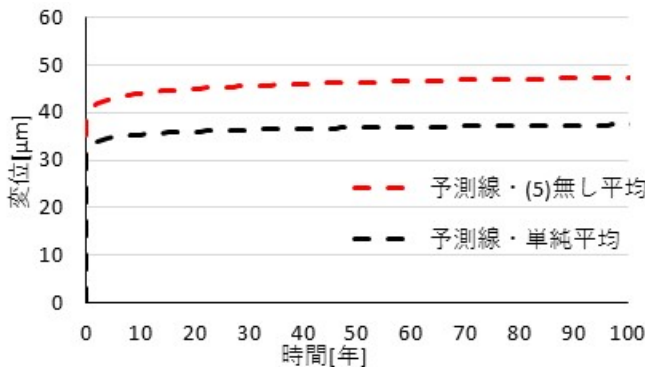


図 2.4.2.5 自由端変位の長期予測結果 (No. 2～No. 5)

2-4-2-3 載荷荷重の違いの比較

目標載荷荷重を $\tau=5.0 \text{ N/mm}^2$ (13.3 kN)相当とした水準(エポキシ系:No.7, セメント系 No.8)の、荷重の経時変化を図 2.4.2.6 と図 2.4.2.7 に、自由端変位を図 2.4.2.8 と図 2.4.2.9 に示す。なお、比較のためエポキシ系は $\tau=3.3 \text{ N/mm}^2$ の水準 (No.2～4 の平均)、セメント系は、No.1 の結果もあわせて示す。

全体的な傾向として、載荷荷重が大きくなるとクリープ変形は大きくなっているが、エポキシ系 (No.8) では、変形量の伸びはなくなっている。セメント系でも変形量は大きくなるがその伸びは 60 日程度で停滞している。前述のように、クリープ試験において載荷荷重が小さい場合は、試験中の様々な変動要因が相対的に大きくなり、試験結果のばらつきも大きくなってしまうと考えられるため、本検討では、荷重と変位の線形性を確認し、荷重を大きくすることによって試験のばらつきを

低減させることを検討したが、この結果だけでは、個々の試験体のばらつきもあることから、クリープ変形量が荷重に対して比例関係にあるかということとは明らかでない。

久保田らによる載荷荷重を変えた場合のクリープ試験結果^{2.18)}を図2.4.2.10および図2.4.2.11に示す。これによると、載荷荷重が小さい範囲(図2.4.2.10)ではおおよそ線形性が見られるが、載荷荷重およびクリープ変形量が大きくなる範囲(図2.4.2.11)では、線形性のある結果とはならない。したがって、今回行っている実験のような載荷荷重が小さい範囲では、載荷荷重を大きくしておき、評価では荷重に応じた変位に割り戻して評価することも考えられる。

現時点では、荷重に対する線形性が保たれる範囲が明らかでないこと、例えば、荷重を2倍の大きさにした場合にばらつきが低減できるのかなどの定量的なデータが少ないため、継続的な検討が必要であるが、ばらつきを低減するための一つの方法としては有効であると考えられる。

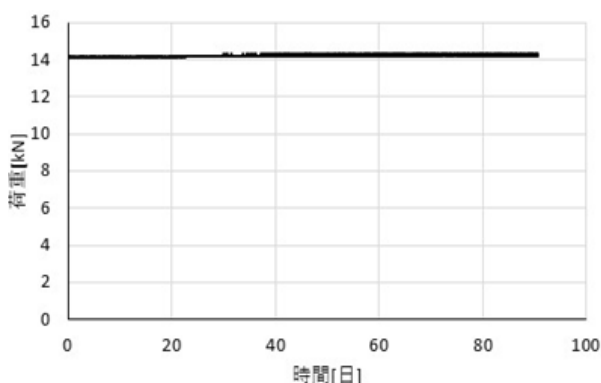


図 2.4.2.6 載荷荷重の経時変化 (No. 7)

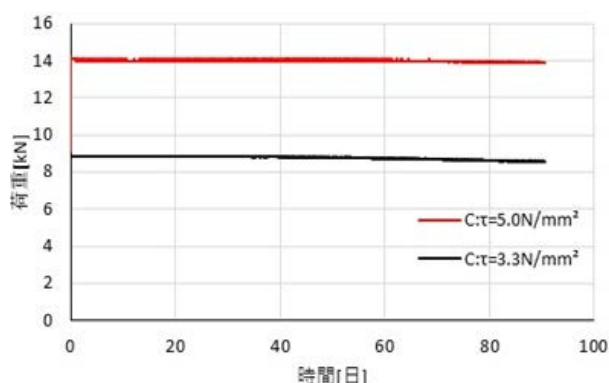


図 2.4.2.7 載荷荷重の経時変化 (No. 1・8)

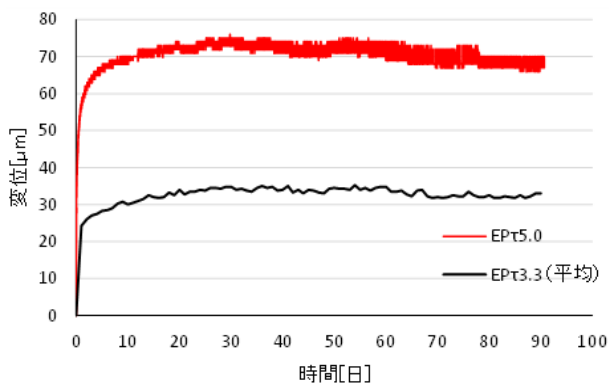


図 2.4.2.8 自由端変位の経時変化 (No. 2~4 平均・7)

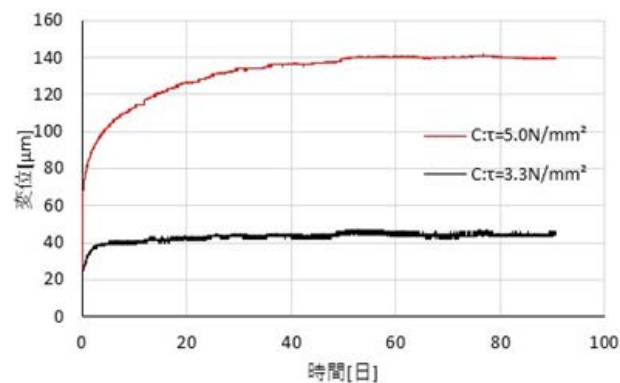


図 2.4.2.9 自由端変位の経時変化 (No. 1・8)

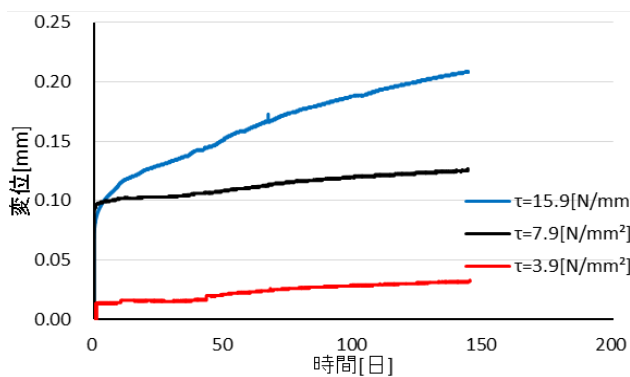


図 2.4.2.10 荷重の異なるクリープ試験結果^{2.18)}

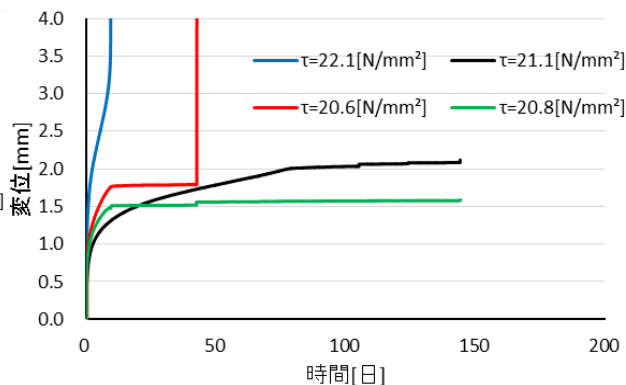


図 2.4.2.11 荷重の異なるクリープ試験結果^{2.18)}

2-4-2-4 環境温度の影響

図 2.4.2.2 に示したとおり，40℃環境(材料環境実験棟恒温恒湿室)の温度は概ね $40 \pm 1^\circ\text{C}$ の範囲にあるが，湿度は $10 \pm 5\% \text{Rh}$ 程度を推移している。

図 2.4.2.12 に 40℃環境におけるエポキシ系の $\tau = 3.3 \text{ N/mm}^2$ 相当 (No.6) の荷重変化，図 2.4.2.13 に自由端変位の経時変化，図 2.4.2.14 にエポキシ系の $\tau = 15 \text{ N/mm}^2$ 相当 (No.9) の荷重変化，図 2.4.2.15 に自由端変位の経時変化を示す。なお，図中の赤破線が (2.4.2.1) 式による計算結果を示している。また，試験結果から (2.4.2.1) 式によってクリープ変位を予測した結果について，No.6 試験体を図 2.4.2.16 に，No.9 試験体を図 2.4.2.17 に示す。

40℃環境では，荷重の低下が若干大きくなっているが，目標荷重 $\pm 5\%$ の範囲には入っている。また，変位は初期の弾性変位から初めの数日間で低下し，その後変位が大きくなっている。ただし，20℃環境と比較して変形が極端に大きくなることはなかった。図 2.4.2.16 には，試験中に温度が変化した载荷開始後 60 日までの試験結果からクリープ変形量を予測した予測線を示している。これによると，100 年経過時点での変形量は $303 \mu\text{m}$ と予測され，20℃環境における推定結果(3 体の平均 $47 \mu\text{m}$ ，最大 $65 \mu\text{m}$)と比較すると大きい値となるものの，評価基準となる付着試験における最大荷重時の変位 ($1,219 \mu\text{m}$) と比較すると十分に小さい。

一方，荷重が大きいレベルでは，クリープ変形が大きくなり，数日間で付着試験における最大荷重時の変位 ($1,219 \mu\text{m}$) を超えている。ただし，クリープ破壊時の変位は平成 28 年度の検討で明らかのように，数倍の大きさになるためクリープ破壊は生じていない。また，図 2.4.2.17 に示すように，100 年経過時点のクリープ予測変位は 3mm ($3000 \mu\text{m}$) を超えており，クリープ破壊が生じることが考えられる。

本課題では，屋外で適用するあと施工アンカーは 40℃環境でのクリープ試験を行うこととしている。この試験結果からは温度依存性は確認されていないが，温度依存性がない(あるいは小さい)ことを確認するためには試験による確認が必要不可欠であると考えられる。ただし，試験体や試験装置の小型化，荷重や変位測定の見易化などにより，クリープ試験の実施をより容易なものにし，小型の恒温恒湿槽程度で実施できる方法などを検討する必要がある。

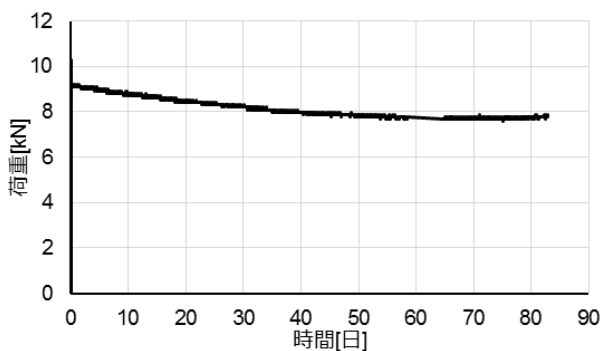


図 2.4.2.12 載荷荷重の経時変化 (No. 6)

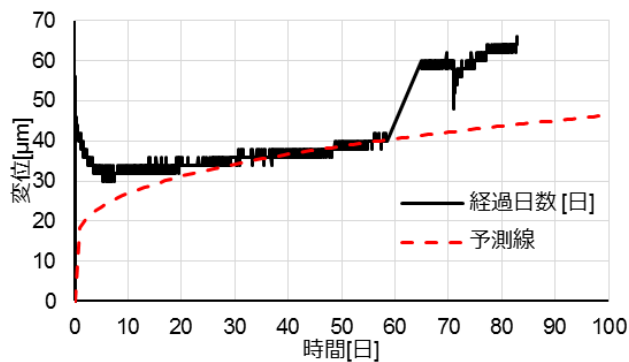


図 2.4.2.13 自由端変位の経時変化 (No. 6)

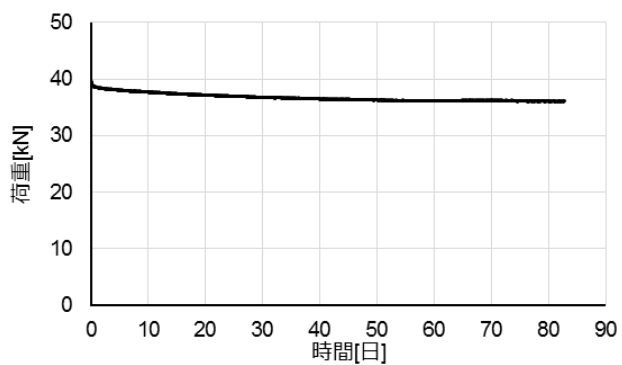


図 2.4.2.14 載荷荷重の経時変化 (No. 9)

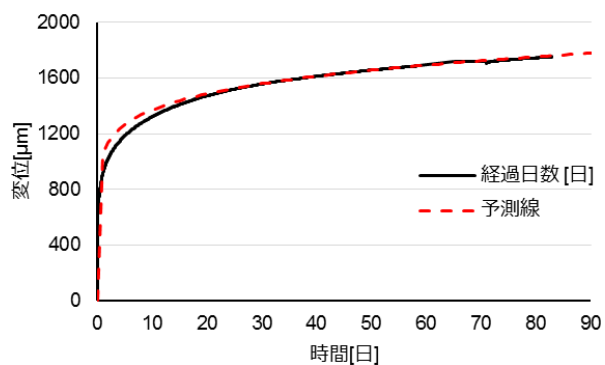


図 2.4.2.15 自由端変位の経時変化 (No. 9)

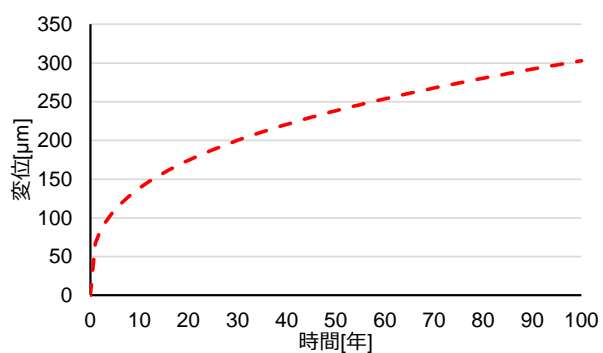


図 2.4.2.16 自由端変位の長期予測結果 (No. 6)

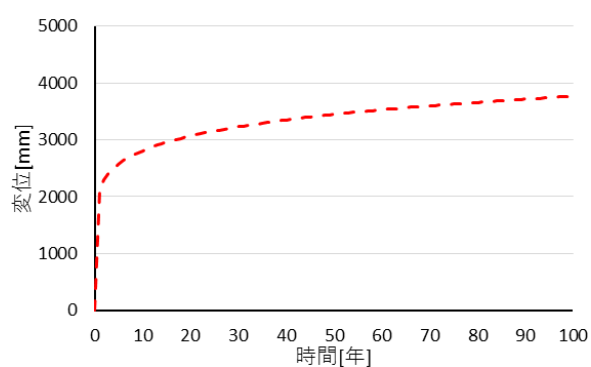


図 2.4.2.17 自由端変位の長期予測結果 (No. 9)

2-5 接着系あと施工アンカーの品質評価試験の提案

2-5-1 検討概要

本課題においては、あと施工アンカーに長期荷重を負担させるためのあと施工アンカーおよびあと施工アンカーが施工された部材の性能評価方法を提案するのが主目的である。ここでは、特にあと施工アンカー単体の性能の評価試験方法について、3年間の成果を踏まえた試験方法の提案としてまとめる。

性能評価に必要となる試験方法は、**本報第6章**に示される、審査基準案における審査項目に対応したものでなければならない。ここで必要となる試験の項目は以下のとおりである。

- ① あと施工アンカーとコンクリートの付着強度(付着強度試験方法)
- ② 持続的荷重に対する安全性(クリープ試験方法)
- ③ 終局引張耐力
- ④ 引張剛性
- ⑤ 終局せん断耐力
- ⑥ せん断剛性
- ⑦ 接着剤の品質評価のための物性評価試験(接着剤単体性能試験)

①および②については、**本報 2-5-2 項**および**2-5-3 項**において試験方法案として示す。この内容は、平成20年度からの建築基準整備促進事業の検討結果をベースに、平成27年度からのクリープ試験の結果を踏まえて、現時点で実施が可能な試験方法および評価方法としてまとめたものである。

③～⑥については、**本報 2-5-4 項**および**2-5-5 項**において試験方法案として示す。これらの試験方法については、JCAAにおいて製品認証のための試験方法として検討されており、その検討内容を踏まえつつ、本課題で検討対象としている長期荷重を負担する部材に対するあと施工アンカーの考え方や適用範囲に合わせたものとして提案する。

⑦については、**本報 3-5 節**において、接着剤単体の性能評価試験方法として示す。接着剤単体の試験方法は、多くはJISにより標準化されているため、本課題においては、試験片の製作方法や試験条件を明記することとした。また、新たな試験方法の提案として、拘束状態を考慮した接着性の試験方法を提案した。最終的な成果として、これらの試験方法および評価基準値を提案した。

2-5-2 付着強度試験

以下、接着系あと施工アンカーの付着試験方法(案)を示す。目次立ては、本報とは独立している。

接着系あと施工アンカーの付着試験方法(案)・同解説

(1) 総則

1) 目的

本試験方法は、接着系あと施工アンカー製品が保有するコンクリートとアンカー筋の付着強度を測定し、必要な付着強度を有していることを確認するために行う。

2) 適用範囲

本試験の適用対象とするあと施工アンカー製品は、アンカー筋として、異形鉄筋のD10～D25の呼び径の範囲で、申請者が申請する範囲とする。また、本試験方法案に規定する試験体および試験方法について、同等の評価結果が得られることが確認された場合にはこれによることができる。

3) 試験実施者および申請者

本試験方法案により試験を行う者(試験実施者)は、あと施工アンカーの付着強度試験を適切に実施でき、かつ第三者的な立場で試験を実施し、その結果を報告できる者でなければならない。申請者は、あと施工アンカー製品の製造者もしくはそのあと施工アンカーを用いて工事を行う者またはその代理者とする。

[解説]

1) 本試験方法は、接着系あと施工アンカーを構造部材に適用する場合に、あと施工アンカー製品に求められる付着性能を有していることを確認するための試験方法とその評価方法について示したものである。接着系あと施工アンカーおよび接着系あと施工アンカーを用いた構造部材が所要の構造性能を有することの妥当性を審査する場合には、本試験方法に従って評価を行うことを前提としている。

2) 本試験方法案で想定している構造部材に適用されるあと施工アンカーは、壁筋やスラブ筋の一部として、構造部材への定着のために使用されるアンカー筋である。したがって、適用するアンカー筋の径は、異形鉄筋とし、呼び径はD10～D25の範囲とした。また、本試験方法案に規定した方法は、前項の目的に照らして適切な評価を行うための一例となる試験方法であり、試験体の条件や試験装置、試験方法などについて、本試験方法案と同等の評価結果が得られることが確認された場合には、それらの方法によることができる。

3) ここでの試験実施者とは、評価試験を適切に実施できる者を指し、試験結果を参照し、性能評価業務などを行う評価者とは異なる。試験実施者の例として、下記の条件を満たす第三者機関とする。

- ・ ISO/IEC 17025 (JIS Q 17025) に基づく試験所認定を受けた試験機関、国際 MRA 対応認定を受けた国外の試験機関あるいはそれらと同等の機関などで申請者との利益相反を生じる関係にならないこと
- ・ 接着系あと施工アンカーの付着試験の実施に必要な加力装置および測定装置を有し、それらの精度が確認されていること。また、適切に試験を実施できること
- ・ 試験報告書の記載事項に対する責任を担保できること

また、ここでの申請者については、あと施工アンカー製品の製造者のほか、当該あと施工アンカーを使用して改修工事を行う場合の建物の所有者、設計者、施工者などが想定される。

(2)用語

1) 接着系あと施工アンカー製品

アンカー筋の固着のための樹脂もしくはセメント系の接着剤を使用したあと施工アンカー製品。カプセル方式の場合は、カプセルとその内容物およびアンカー筋，注入方式の場合は，カートリッジとその内容物およびアンカー筋の総称。ただし，付着強度試験においては，アンカー筋は試験実施者が指定するものを用いる。

2) 基準付着強度

評価対象の接着系あと施工アンカー製品の付着強度。10 N/mm²もしくは15 N/mm²より申請者が選択する。

〔解説〕

- 1) ここで定義するあと施工アンカー製品は，接着剤だけでなくアンカー筋や接着剤のカートリッジ等の総称を指すが，付着強度試験では，アンカー筋が試験中に降伏または破断することを避けるため，高強度鉄筋を用いる必要があり，アンカー筋のみ試験実施者が指定するものを用いることとした。
- 2) 基準付着強度は，申請者が10 N/mm²もしくは15 N/mm²のいずれかを選択し，95%信頼下限値がこれを満足することを確認する。

(3)試験の対象および試験体

1) アンカー筋

付着強度試験において使用するアンカー筋は，試験実施者が指定するものを用いる。

2) 母材コンクリート

a. 対象

普通コンクリートとする。

b. 圧縮強度

圧縮強度の範囲は，試験実施時において18～24 N/mm²および30～36 N/mm²の範囲とし，それぞれの強度範囲において評価を行う。適用範囲が低強度コンクリート(13.5～18 N/mm²)を含む場合は，その範囲も対象として評価を行う。圧縮強度の確認は，母材コンクリートと同じ養生条件とした円柱供試体(φ100×200 mm)により，付着強度試験を実施する材齢と同時に試験を行う。

c. 養生

母材コンクリート打込み後，所定の強度に達したことが確認された後にあと施工アンカーの施工を行う。母材コンクリートの養生環境は，常温の室内とする。

3) 試験体

a. 形状および寸法

付着強度を確認する試験体は，内径 φ200×5 d_a (mm) (d_a : アンカー筋の呼び径)の鋼管($t=8$ mm程度)に打設したコンクリートの中央にアンカー筋を垂直に施工したものとする。アンカー筋の端部(自由端)は母材コンクリート面から突出もしくは同一面とし，カプセル方式の場合は先端カット部分をすべて突出させる。アンカー筋の載荷側には座掘等を設けず，試験体の高さを有効付着長さとするを標準とする。座掘深さがあらかじめ正確に求められる場合は座掘を有した試験体としてもよいが，この場合も有効付着長さはアンカー筋径の5倍以上を確保するものとする。

b. 製作方法

試験体の製作は、試験実施者が責任を持って管理し、母材コンクリートの製作、試験体の養生等を行う。アンカー筋の施工は、申請者が示す施工要領に従い申請者などが施工する。申請者などがアンカー筋の施工を行う際は、試験実施者は必ず施工に立ち会い、施工要領に従って施工されているかについて確認する。施工時および養生時の環境は、 $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ の室内環境とする。

c. 製作精度

試験体のコンクリート部分の高さは、所定の寸法の $\pm 3\text{ mm}$ 以内とし、測定した高さを有効埋込み長さとする。穿孔径は製造者が指定する誤差の範囲であることを確認する。アンカー筋の倒れは、載荷面の法線に対して2度以内とする。

d. 試験体数量

5体とする。

〔解説〕

- 1) アンカー筋は、試験実施者が指定する。アンカー筋は、付着強度試験において降伏や破断を生じないように高強度の異形鉄筋を用いる。細径の場合は、MK785などの高強度鉄筋を用い、JIG G 3112(鉄筋コンクリート用異形棒鋼)の規定による節の形状と同等のものを用いる。太径の場合はねじ節の高強度鉄筋を用いてもよい。
- 2) 試験体の母材に用いるコンクリートは、認証を受けようとする強度に応じたコンクリートとしなければならない。ただし、コンクリートの強度にはばらつきも生じることから、一定の幅を持った範囲とした。ここでの圧縮強度は、試験体の母材と同一バッチで同様の養生環境としたコンクリート供試体の強度とする。また、コンクリートの種類は普通コンクリートとしているが、適用する部位のコンクリートが軽量コンクリートである場合は、適用対象のコンクリートを考慮し、軽量コンクリートとし、できるだけその材料および品質に近いものを用いるようにする。

母材コンクリートの製造は、JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)の規格等の品質基準に適合するものであることを確認する。例えば、JIS A 5308の製品認証を取得しているレディーミクストコンクリート工場で製造されたものとする。コンクリートのスランプ、空気量などのフレッシュ性状は、建築工事で一般に使用されている範囲(例えば、スランプ 18 cm, 空気量 4.5%)とし、型枠(鋼管)内に適切に打ち込めるワーカビリティを有するものとする。なお本ガイドラインにて対象とする低強度コンクリートは、これまでに耐震補強技術の開発等において十分な施工実績がある範囲として、最低値を 13.5N/mm^2 としている。ここでの低強度コンクリートを用いる場合は、事前に試し練りを実施し、目標の強度となることに加え、施工性を確保するためには、以下のような品質、仕様を満足するとよい。

- ・ スランプ : $15\pm 2.5\text{cm}$ 又は $18\pm 2.5\text{cm}$
- ・ 空気量 : $4.5\pm 1.5\%$
- ・ 単位粉体量(セメントやそれに代わる粉体状の材料の分量) : 270 kg/m^3 以上
- ・ 材料分離がないことを目視確認(JIS A 1160を参照)

母材コンクリートの養生期間は、所定の強度範囲となる期間でできるだけ材齢を長く確保することが望ましい。また、コンクリート打ち込み後、アンカーの施工までの期間は少なくとも7日以上とする。養生方法は、 $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ の室内とした。

- 3) 試験体の形状は、鋼管で拘束した円柱形のコンクリートの中央にアンカー筋を施工したものとする。円柱の高さはアンカー筋の径によって異なり鉄筋径の5倍とする。母材コンクリートに座

堀を設ける場合は、座堀の深さをあらかじめ測定し、座堀部分の高さを除いた試験体の高さが鉄筋径の5倍を確保できる形状とする。

試験体の製作は、試験実施者の責任において製作する。ただし、アンカー筋の施工については、申請者もしくは申請者が指定する者が行うこととし、試験実施者は、申請者が定めた施工要領に準じて施工が実施されているかについて必ず立ち会いでの確認を行う。養生条件は室内で試験時の環境と同様とした。

試験体の製作では、載荷面に対して垂直に穿孔およびあと施工アンカー打設を行うための治具等を用いて施工するとよい。垂直に穿孔するための治具および施工時に垂直を保持するための治具の例を解図1、解図2に示す。

試験体の数量については、少なくとも5体は必要であり、より安定性を照査する場合には増やす必要がある。



解図1 穿孔用治具の例



解図2 アンカー施工用治具の例

(4) 試験方法

1) 拘束条件

穿孔径の 1.5 ± 0.25 倍の開孔を有する支圧板を用い、載荷面のコンクリートを拘束状態として載荷する。

2) 環境条件

$20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ の試験室内で試験を行う。なお、特殊な環境下において使用することを想定した場合には、当該温度条件において試験を行う。

3) 加力・計測方法

a. 加力装置

図1の例を参考にし、試験体の載荷面に支圧板を置き、アンカー筋と載荷用のロッドを強固に接続した状態で油圧ジャッキを用いて加力する。油圧ジャッキの下部には球座を置く。なお、図1に示す装置と同様の加力ができる場合は、これによらない装置を用いることもできる。

b. 加力方法

油圧ジャッキ等を用いて 40 ± 10 kN/min 程度の速度で載荷する。載荷および測定は、最大荷重を記録した後、荷重が最大荷重から 10% 程度低下するまで継続する。

c. 計測方法

載荷中の荷重および自由端変位を連続的に測定する。

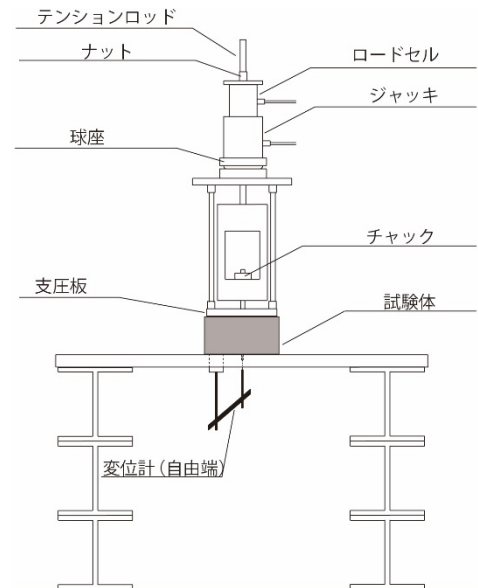


図1 加力装置および測定位置の例

[解説]

- 1) 試験は、加力面に十分な剛性を持つ支圧板を置き、支圧板に設けた開孔にアンカー筋を通すことにより拘束状態で実施する。支圧板の開孔部の径は穿孔径に対して 1.5 倍程度とし、例えば穿孔径が 16 mm の場合は、開孔部の径は 24 ± 4 mm となる。この範囲であれば試験結果に影響が無いことが確認されている。
- 2) 試験時の環境条件は、特に有機系の樹脂に影響を与える可能性があるため、気温が管理された試験室内で実施する。試験体は、予め試験時の温度と同じ条件で養生しておき、室温と同程度とする。また、特殊な環境に曝される環境で使用されることが想定される場合には、想定される温度での試験を行う。特に、エポキシ樹脂については、 40°C を超える範囲での使用が想定される場合には想定される環境条件での試験を実施する。
- 3) 加力および計測は、油圧ジャッキ等を用いて加力し、センターホール型ロードセル、変位計、データロガー等を用いて、荷重と自由端の変位を連続的に記録する。自由端変位は、試験体の変形の影響を受けないう、裏面を基準として測定する。データロガーの測定間隔は 1 秒もしくはそれ以下が望ましい。最大荷重を記憶した後、アンカー筋のすべりが生じ、耐力が確実に低下することを確認するため、最大荷重から 10% 程度以上荷重が低下したことを確認してから載荷を終了する。なお、最大荷重時の変位が大きくなった場合には再度試験を行うか、または、安全側の評価となるように配慮する。

(5) 試験結果の整理

1) 付着強度の評価

付着試験の結果は、(1)式～(4)式によって、付着強度の95%信頼下限値を求め、その値が基準付着強度を満足するか否かを(5)式によって評価する。

$$\tau_n = \frac{P_{max}}{\pi \cdot d_a \cdot l_e} \cdot \sqrt{\frac{21}{\sigma_B}} \dots\dots\dots (1) 式$$

$$\tau_{ave} = \frac{\sum_{n=1}^N \tau_n}{N} \dots\dots\dots (2) 式$$

$$\tau_{0.95} = \tau_{ave} - t \cdot s \dots\dots\dots (3) 式$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (\tau_{ave} - \tau_n)^2}{N-1}} \dots\dots\dots (4) 式$$

$$\tau_{0.95} \geq F \dots\dots\dots (5) 式$$

- ここで、 τ_n : 個々の試験における付着強度 (N/mm²)
 τ_{ave} : 平均付着強度 (N/mm²)
 $\tau_{0.95}$: 付着強度の95%信頼限界値 (N/mm²)
 s : τ_n の標準偏差 (N/mm²)
 F : 基準付着強度, 15 N/mm²もしくは10 N/mm²より申請者が選択する
 σ_B : 試験体と同養生された母材コンクリートの圧縮強度(ただし, $\sigma_B < 21$ の場合は $\sigma_B = 21$ N/mm²)
 P_{max} : 付着強度試験における最大荷重 (N)
 d_a : アンカー筋の呼び径 (mm)
 l_e : アンカー筋の有効埋め込み長さ (mm)
 N : 試験体数
 t : t分布表において片側95%の信頼限界を与える数値 (N=5の時 $t=2.132$)

2) 最大荷重時の変位(終局引張耐力剛性)の算定

試験によって得られた最大荷重時の変位の平均値を(6)式により求める。

$$\max \delta_{ave} = \frac{\sum_{n=1}^N \max \delta_n}{N} \dots\dots\dots (6) 式$$

- ここで、 $\max \delta_{ave}$: 最大荷重時の変位の平均値 (mm)
 $\max \delta_n$: 個々の試験における最大荷重時の自由端変位 (mm)
 N : 試験体数

[解説]

1) 平成27年度の実験結果により、(1)式によれば安全側の値となることが確認されている。また、圧縮強度が21 N/mm²を下回る場合は、付着強度が低下することから、評価に当たって付着強度の割り増しが考えられるが、安全側の評価のため、ここでは付着強度の割り増しはせずに、母材強

度を 21 N/mm^2 として取り扱うこととした。

また、付着強度のばらつきはスチューデントの t 分布に従うと仮定して、試験体本数との関係により 95%信頼下限値を求め、それが申請者が選択した基準付着強度を満足するかどうかを評価することとした。これまでの試験結果などから、試験体数を 5 体とした場合には、試験における最小値と 95%信頼下限値が概ね同程度の値となることが確認されている。また、変動係数が極端に大きい場合には試験体の施工や試験の実施に問題があることも考えられるため、変動係数が 15%を超えるような場合には、ばらつきの原因を調査し、再試験を行う。また、試験体の数量を 5 体以上で実施した場合は、それに適した t 分布値を用いて評価してよい。

- 2) 最大荷重時の変位は、長期載荷に関する評価において評価の基準となる値であり、同様の試験体を用いた付着強度試験の結果から求めておく。

(6) 報告

試験終了後、試験実施者は以下の項目について報告する。

- 1) 試験実施者に関する事項(試験担当者の氏名・所属)
- 2) 試験実施日程に関する事項(母材コンクリート打設、アンカー筋施工、付着強度試験実施)
- 3) 試験の対象とした製品に関する事項(申請者、製品名、ロット番号、基準付着強度の申請値)
- 4) 母材コンクリートに関する事項(レディーミクストコンクリート製造者、調合および使用材料、打設後の養生条件、圧縮強度試験結果)
- 5) 付着強度試験結果(試験体ごとの荷重-自由端変位曲線、最大耐力、付着強度、最大荷重時の変位)
- 6) 付着強度試験の計算結果(付着強度の平均値および 95%信頼下限値、最大荷重時の変位の平均値、基準付着強度の判定結果)
- 7) その他試験実施における特記事項

2-5-3 クリープ試験

以下、接着系あと施工アンカーのクリープ試験方法(案)を示す。目次立ては、本報とは独立している。

接着系あと施工アンカーのクリープ試験方法(案)・同解説

(1) 総則

1) 目的

本評価方法は、接着系あと施工アンカー製品について、実部材に想定される荷重条件下での長期的な変形特性(クリープ特性)を把握し、想定される供用期間においてクリープ破壊を生じないことを確認するために行う。

2) 適用範囲

本試験の適用対象とするあと施工アンカー製品は、アンカー筋として、異形鉄筋の D10~D25 の呼び径の範囲で、申請者が申請する範囲とする。また、本試験方法案に規定する試験体および試験方法について、同等の評価結果が得られることが確認された場合にはこれによることができる。

3) 試験実施者および申請者

本試験方法案により試験を行う者は、あと施工アンカーのクリープ試験を適切に実施でき、かつ第三者的な立場で試験を実施し、その結果を報告できる者でなければならない。申請者は、あと施工アンカー製品の製造者もしくはそのあと施工アンカーを用いて工事を行う者またはその代理者とする。

4) 付着強度試験との同一性の確保

本試験を実施する場合は、付着強度試験と同一の試験実施者が実施し、同一バッチで製造された母材コンクリートおよび同一ロットのあと施工アンカー製品を用いる。

〔解説〕

- 1) 本評価方法案では、実際の部材に作用する応力を想定して、クリープ破壊を生じる可能性がないかどうかの確認のために実施する。したがって、試験体に載荷する荷重は、使用する製品に適用される長期許容応力度相当とする。また、評価の基準となる変位や評価の考え方は、合理的な範囲で安全側となるような評価を行う。
- 2) 付着試験と同様である。
- 3) クリープ試験については、実施できる機関が限られるため、事前に適切な試験装置および測定装置を有していることを確認しておくことが重要である。
- 4) クリープ試験は、付着強度試験における最大荷重時の変位によって評価を行うため、付着強度試験の試験条件とできるだけ同一としなければならない。したがって、試験実施者、母材コンクリート、あと施工アンカー製品などを同一と見なせるものであることとした。

(2)用語

1) 接着系あと施工アンカー製品

アンカー筋の固着のための樹脂もしくはセメント系の接着剤を使用したあと施工アンカー製品。カプセル方式の場合は、カプセルとその内容物およびアンカー筋、注入方式の場合は、カートリッジとその内容物およびアンカー筋の総称。

2) 基準付着強度

評価対象の接着系あと施工アンカー製品の付着強度。10 N/mm²もしくは15 N/mm²より申請者が選択する。

〔解説〕

- 1) 付着試験と同様にあと施工アンカー製品とは、接着剤のみではなく、アンカー筋や施工のためのカートリッジ等の総称とする。付着強度試験では、アンカー筋には高強度のものを使用するとしたが、クリープ試験における載荷荷重では、破断や降伏の懸念はないため、製品として組み合わせられるものを使用することとした。
- 2) 基準付着強度は、付着強度試験と同様である。クリープ試験における載荷荷重は、基準付着強度によって異なる。

(3)試験の対象・試験体

1) アンカー筋

試験には、あと施工アンカー製品として使用するものを用い、異形鉄筋(JIS G 3112 適合品)を対象とする。アンカー筋の呼び径はD13を標準とする。D13の製品がない場合には、最も13 mmに近い

径のものを用いる。

2) 母材コンクリート

a. 対象

普通コンクリートとする。

b. 圧縮強度

圧縮強度の範囲は、試験開始時において $18\sim 27\text{ N/mm}^2$ とする。圧縮強度の確認は、母材コンクリートと同じ養生条件とした円柱供試体 ($\phi 100\times 200\text{ mm}$) により行う。

c. 養生

母材コンクリート打ち込み後、所定の強度に達したことが確認された後にあと施工アンカーの施工を行う。母材コンクリートの養生環境は、常温の室内とする。

3) 試験体

a. 形状および寸法

付着強度を確認する試験体は、内径 $\phi 200\times 5d_a$ (mm) (d_a : アンカー筋の呼び径) の鋼管に打設したコンクリートの中央にアンカー筋を垂直に施工したものとす。アンカー筋の端部(自由端)は母材コンクリート面から突出もしくは同一面とし、カプセル方式の場合は先端カット部分をすべて突出させる。アンカー筋の載荷側には座堀等を設けず、試験体の高さを有効付着長さとするを標準とする。座堀深さがあらかじめ正確に求められる場合は座堀を有した試験体としてもよいが、この場合も有効付着長さはアンカー筋径の5倍以上を確保するものとする。

b. 製作方法

試験体の製作は、試験実施者が責任を持って管理し、母材コンクリートの製作、試験体の養生等を行う。アンカー筋の施工は、申請者が示す施工要領に従い施工する。申請者などがアンカー筋の施工を行う際には、試験実施者は必ず施工に立ち会い、施工要領に従って施工されているかについて確認する。なお、あと施工アンカーの施工は、付着強度試験用試験体の施工とあわせて行う。

c. 製作精度

試験体のコンクリート部分の高さは、所定の寸法の $\pm 3\text{ mm}$ 以内とし、測定した高さを有効埋込み長さとする。穿孔径は製造者が指定する誤差の範囲であることを確認する。アンカー筋の倒れは、載荷面に対して2度以内とする。

d. 試験体数量

3体を標準とする。

[解説]

- 1) アンカー筋は、クリープ試験では降伏や破断の可能性はないため、あと施工アンカー製品に使用されているものを用いる。
- 2) 母材コンクリートの強度は、養生期間中および試験期間中の強度増進を想定し、強度範囲を $18\sim 27\text{ N/mm}^2$ の範囲とした。
- 3) 試験体の製作は、付着強度試験との同一性を確保するために、付着強度試験用試験体の製作と同時に進行。試験体の数量は、3体を標準としているが、クリープ試験として有効な結果が少なくとも3体必要であるということである。この数量は他の試験と比べてやや少ないが、後述する評価法でこの3体の内、最大となるクリープ変位を用いることとしている一方、試験実施時のトラブルなどを考慮して試験体数を増やしておくともよい。また、試験体の数量を増やした場合も、試験結果の評価は、長期的なクリープ変位が最も大きくなるものを対象に評価を行う。

(4) 試験方法

1) 拘束条件

穿孔径の 1.5 ± 0.25 倍の開孔を有する支圧板により拘束状態で載荷する。

2) 環境条件

あと施工アンカーが屋内のみで使用される場合には温度 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $60 \pm 10\%$ の試験室内で試験を行う。屋外での使用も想定される場合は、これに加えて、 $40 \pm 3^\circ\text{C}$ の試験室内で試験を行う。このほか、特殊な環境下での使用が想定される場合は当該温度条件で試験を行う。

3) 加力方法

図1に示すバネ式の載荷装置もしくはカウンターウェイト式の載荷装置など一定の荷重を継続的に載荷できることのできる装置を用いて、アンカー筋に対して所定の引張荷重を載荷する。バネ式の載荷装置を用いる場合には、ロードセル等により、載荷期間中に荷重が適切に載荷されていることを確認する。載荷開始は、付着強度試験終了後28日以内とし、載荷期間は、90日間とする。

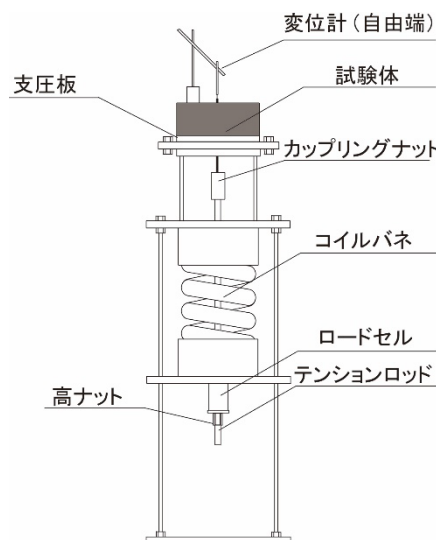


図1 バネ式載荷装置の例

4) 目標載荷荷重

目標載荷荷重 L_{creep} は、当該あと施工アンカーの付着に関する長期許容応力度に相当する荷重とし(1)式による。載荷期間中は目標荷重の $\pm 5\%$ の範囲の荷重で載荷しなければならない。

$$L_{creep} = \frac{F}{\alpha} \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_e \quad \dots\dots\dots (1) \text{式}$$

- ここで、
- L_{creep} : 目標載荷荷重 (kN)
 - α : 長期許容応力度を求めるための安全率 (=4.5)
 - F : 当該あと施工アンカー製品の基準付着強度 (15 N/mm^2 もしくは 10 N/mm^2)
 - d_a : アンカー筋の呼び径 (mm)
 - l_e : 有効埋込み付着長さ (mm)

5) 計測方法

載荷開始前から試験体の自由端の変位を $1 \times 10^{-6} \text{ mm}$ 以上の感度で継続的に計測する。計測間隔は、載荷開始から10日間までは1時間につき1データ以上を記録する。載荷開始後10日経過後に変位の変化が安定していることを確認した後は、1日につき4データ以上を記録する。

[解説]

- 1) 拘束条件は、付着性能を評価するためにできるだけ母材の変形の影響を受けないように、短期載荷試験と同様の条件とした。
- 2) あと施工アンカーが一般的な環境で使用されることを想定しており、環境条件として屋内で使用される場合には 20°C の環境、屋外で使用される場合には 40°C の環境を標準とした。これは、文献^{2,2)}に示されているように、日本国内の一般的な環境では、年間の平均温度としては 20°C 前後となること、夏季(6月~8月)の日射を受ける部分において、アンカー筋が埋設される深さまでの平均的な温度が $30 \sim 40^\circ\text{C}$ の範囲にあることなどから設定したものである。したがって、 40°C

を超えるような温度に継続的に曝されるような部位への適用が想定される場合には、想定される環境での試験を行う必要がある。試験中の湿度についても試験結果に影響するため、湿度管理を行う。コンクリートのクリープ試験では相対湿度 $60 \pm 5\%$ で実施されることが多く、その他の材料では $50 \pm 5\%$ 、 $60 \pm 20\%$ で実施される例などもあることから、これらの試験条件においても適用が可能となることを考慮し、本試験方法では、 $60 \pm 10\%$ とした。また、 40°C 環境の試験では湿度制御が困難であるため、湿度の管理は求めていないが、室内で行うなどによりできるだけ湿度の変化が小さいことが望ましい。

- 3) 継続的な荷重の荷重には、バネ式あるいはカウンターウェイト式などの荷重装置を用いる。カウンターウェイト式は最も安定した加力が可能であるが、装置の大きさも大きくなるため環境温度を変えた場合の測定等には不向きである。バネ式荷重装置については、本検討で用いているような装置を用いることにより安定的な加力ができていることが確認されている。ただし、バネ式の荷重装置を用いる場合には、長期的な荷重によって若干荷重が低下する場合があるので、試験体に導入する荷重荷重は目標荷重荷重に対して 5% 程度大きし、荷重期間中の荷重荷重が目標荷重荷重の $\pm 5\%$ の範囲であることを確認する。また、バネ式装置を用いた荷重については、目標荷重の $30 \sim 50\%$ 程度の荷重の荷重と除荷を数回繰り返した後に目標荷重まで荷重することによって安定した荷重が可能である。試験機の縮小化が図れる皿バネを用いたバネ式や、欧米の認証に用いられている油圧式の荷重装置を用いる場合には、実証実験を実施し適切に評価できることを確認する。

荷重の開始は、付着強度試験終了後 28 日以内とした。これは、コンクリート強度が付着強度試験時の強度と大きく異なることを避けるためである。

- 4) 荷重の目標荷重は長期許容応力度を想定した荷重とする。基準付着強度は、 15 N/mm^2 もしくは 10 N/mm^2 を想定しており、安全率を 4.5 とした場合、クリープ荷重の目標値はそれぞれ 3.33 N/mm^2 、 2.22 N/mm^2 となる。
- 5) 計測では、試験体の自由端側の鉄筋の抜け出し量を $1 \times 10^{-6} \text{ mm}$ 以上の感度で測定する。荷重後 10 日程度までは変位の変化も比較的大きいため、10 日以上経過した時点で、安定した荷重と変形量となっているかを確認するとよい。安定した荷重が確認できれば、測定間隔は 6 時間程度おきに 1 データとしてもよい。

(5) 試験結果の整理

1) 試験結果の統計処理

a. 荷重荷重の確認

試験を行ったすべての試験体について、時間－荷重関係を確認し、試験期間中に荷重が目標荷重の $\pm 5\%$ の範囲にあったことを確認する。荷重が所定の範囲を外れた場合には、その試験体の結果は評価には用いない。

b. 90 日後の変位の確認

試験を行ったすべての試験体について、時間－自由端変位関係を確認し、90 日後の変位が荷重直後の変位よりも小さくなるような結果を示す試験体がないことを確認する。荷重直後の変位よりも小さくなる結果となった場合には、その試験体の結果は評価には用いない。

c. 有効な試験結果数の確認

載荷荷重および自由端変位の確認において問題のない試験結果が3体以上あることを確認する。

3体未満の場合には、その試験結果はすべて無効とする。

2) 長期変形量の推定式の作成

各試験体について載荷後90日間の自由端変位の値から(2)式の実験定数を求め、長期変形量の推定式を作成する。実験定数の推定に用いるデータは、試験期間70日～90日の自由端変位により最小二乗法によって求める。初期変形量は、原則として目標荷重導入時の自由端変位とする。

$$S_{(t)} = S_0 + a \cdot t^b \quad \dots\dots\dots (2) \text{式}$$

ここで、 $S_{(t)}$: 時間 t における自由端変位 t : 試験材齢
 S_0 : 載荷直後の自由端変位 a, b : 実験定数

3) 予定供用期間における長期変形量

(2)式によって得られた実験定数を用い、各試験体について(3)式により予定供用期間における長期変形量を求める。また、(4)式によりその最大値である $S_{service_max}$ を求める。

$$S_{service} = S_0 + a \cdot t_{service}^b \quad \dots\dots\dots (3) \text{式}$$

$$S_{service_max} = \max | S_{service} | \quad \dots\dots\dots (4) \text{式}$$

ここで、 $S_{service}$: 予定供用期間における各試験体の長期変形量の推定値
 $S_{service_max}$: 予定供用期間における最大の長期変形量の推定値
 $t_{service}$: 予定供用期間

4) クリープ変形に対する安全性の評価

予定供用期間における最大の長期変形量の推定値($S_{service_max}$)と、同じロットの接着系あと施工アンカー製品で実施した付着強度試験で得られた最大荷重時の変位の平均値 $_{max}\delta_{ave}$ を比較し、(5)式を満たすことを確認する。

$$S_{service_max} < _{max}\delta_{ave} \quad \dots\dots\dots (5) \text{式}$$

ここで、 $_{max}\delta_{ave}$: 同じロットの接着系あと施工アンカー製品で実施した付着強度試験で得られた最大荷重時の変位の平均値

〔解説〕

- 1) クリープ試験の結果には相当のばらつきが生じることから、適切な統計処理を行った上で安全側の評価を行う必要がある。特に載荷荷重が小さい範囲でクリープ試験を行った場合には、相対的にばらつきが大きくなることがあるため注意が必要である。そのため、荷重が適切に載荷されていないと判断される場合、変位の取得において適切でないと判断される場合にはその試験データは採用しないこととした。また、試験結果のばらつきを考慮するため、少なくとも3体の有効なデータがあることを条件とした。
- 2) 長期的なクリープ変形の予測は、ACI および EOTA で採用されているべき乗式による推定式を適用した。この式によれば、長期の変形に対して安全側の値が得られることが確認されている。最小二乗法によって実験定数を求める場合は、試験終了前の20日間のデータを用い、少なくとも20個以上のデータから推定する。初期変形量を実験によって得ることが難しい場合は、短期載荷試験時の荷重－変位関係から、目標荷重に相当する自由端変位を求めたものを代入してもよい。

- 3) 予定供用期間における長期の変形量を予測する。予定供用期間は ACI 基準では 50 年が想定されている。日本建築学会 JASS5 などでは、長期(100 年)や超長期(200 年)などの長寿命の建築物が設計されており、これらを考慮して定めるとよい。
- 4) クリープ変形に対する安全性の評価は、付着強度試験時の最大荷重時の変位の平均値と比較することとした。また、クリープ変形量は試験体間のばらつきがあり、本評価方法案では、安全側の評価とするため、予定供用期間における変形量の最大値によって評価することとした。これまでに得られている試験結果からは、長期許容応力度相当の載荷荷重による試験では、クリープ変形量の推定値は最大荷重時の変位に対して十分に小さく、評価には相当の余裕があることが確認されている。また、最大荷重時の変位については、クリープ破壊を生じる時の変位と比較すると 1/3~1/5 の変形量となり、ここにも相当の安全率が見込まれている。

(6) 報告

試験終了後、以下の項目について報告する。

- 1) 試験実施者に関する事項(試験担当者の氏名・所属)
- 2) 試験実施日程に関する事項(母材コンクリート打設、アンカー筋施工、付着強度試験実施)
- 3) 試験の対象とした製品に関する事項(申請者、製品名、ロット番号)
- 4) 母材コンクリートに関する事項(レディーミクストコンクリート製造者、調合および使用材料、打設後の養生、圧縮強度試験結果)
- 5) クリープ試験結果(試験体ごとの時間-荷重関係、時間-自由端変位関係、時間-自由端変位関係の平均、試験結果の有効性)
- 6) クリープ試験結果の計算結果(クリープ推定式(各試験体)、予定供用期間における長期変形量の推定値(各試験体および最大値))、クリープ変形量の評価結果
- 7) その他試験実施における特記事項

2-5-4 引張試験

以下、接着系あと施工アンカーの引張試験方法(案)を示す。目次立ては、本報とは独立している。

接着系あと施工アンカーの引張試験方法(案)・同解説

(1) 総則

1) 目的

本試験方法案は、接着系あと施工アンカー製品の引張強度試験を実施することによって、強度とその時の伸び出し量を測定し、そのあと施工アンカー製品が必要な終局引張強度および引張剛性を有していることを確認するために行う。

2) 適用範囲

本試験の適用対象とするあと施工アンカー製品は、アンカー筋の径として、異形鉄筋の D10~D25 の呼び径の範囲で、申請者が申請する範囲とする。また、本試験方法案に規定する試験体および試験方法について、同等の評価結果が得られることが確認された場合にはこれによることができる。

3) 試験実施者および申請者

本試験方法(案)により試験を行う者(試験実施者)は、あと施工アンカーの引張強度試験を適切に実施でき、かつ第三者的な立場で試験を実施し、その結果を報告できる者でなければならない。申請者は、あと施工アンカー製品の製造者もしくはそのあと施工アンカーを用いて工事を行う者またはその代理者とする。

[解説]

- 1) 本試験方法案は、接着系あと施工アンカーを構造部材に適用する場合に、あと施工アンカー製品に求められる引張性能を有していることを確認するための試験方法とその評価方法について示したものである。接着系あと施工アンカーおよび接着系あと施工アンカーを用いた構造部材が所要の構造性能を有することの妥当性を審査する場合には、本試験方法に従って評価を行うことを前提としている。
- 2) 本試験方法で想定している構造部材に適用されるあと施工アンカーは、壁開口補強筋やスラブ筋の一部として、構造部材への定着のために使用されるアンカー筋である。したがって、適用するアンカー筋の径は異形鉄筋とし、呼び径はD10～D25の範囲とした。また、本試験方法案に規定した方法は、前項の目的に照らして適切な評価を行うための一例となる試験方法であり、試験体の条件や試験装置、試験方法などについて、本試験方法案と同等の評価結果が得られることが確認された場合には、それらの方法によることができる。
- 3) ここでの試験実施者とは、評価試験を適切に実施できる者を指し、試験結果を参照し、性能評価業務などを行う評価者とは異なる。試験実施者の例として、下記の条件を満たす第三者機関とする。
 - ・ ISO/IEC 17025 (JIS Q 17025) に基づく試験所認定を受けた試験機関、国際 MRA 対応認定を受けた国外の試験機関あるいはそれらと同等の機関などで申請者との利益相反を生じる関係にないこと
 - ・ 接着系あと施工アンカーの引張試験の実施に必要な加力装置および測定装置を有し、それらの精度が確認されていること。また、適切に試験を実施できること
 - ・ 試験報告書の記載事項に対する責任を担保できること
 また、ここでの申請者については、あと施工アンカー製品の製造者のほか、当該工業あと施工アンカーを使用して改修工事を行う場合の所有者、設計者、施工者などが想定される。

(2)用語

1) 接着系あと施工アンカー製品

アンカー筋の固着のための樹脂もしくはセメント系の接着剤を使用したあと施工アンカー製品。カプセル方式の場合は、カプセルとその内容物およびアンカー筋、注入方式の場合は、カートリッジとその内容物およびアンカー筋の総称。ただし、引張強度試験においては、アンカー筋は試験実施者が指定するものを用いる。

[解説]

- 1) ここで定義するあと施工アンカー製品は、接着剤だけでなくアンカー筋や接着剤のカートリッジ等の総称を指す。

(3) 試験の対象および試験体

1) アンカー筋

引張強度試験において使用するアンカー筋は、異形鉄筋(JIS G 3112 適合品)とする。

2) 母材コンクリート

a. 対象

普通コンクリートとする。

b. 圧縮強度

圧縮強度の範囲は、試験実施時において 18~24 N/mm²および 30~36 N/mm²の範囲とし、それぞれの強度範囲において評価を行う。適用範囲が低強度コンクリート(13.5~18 N/mm²)を含む場合は、その範囲も対象として評価を行う。圧縮強度の確認は、母材コンクリートと同じ養生条件とした円柱供試体(φ100×200 mm)により、引張強度試験を実施する材齢と同時に試験を行う。

c. 養生

母材コンクリート打込み後、所定の強度に達したことが確認された後にアンカーの施工を行う。母材コンクリートの養生環境は、原則として常温の室内とする。ただし、屋外の場所で養生を行う場合は、日光の直射、急激な乾燥および寒気に対して適当な養生を行うものとする。

3) 試験体

a. 形状および寸法

試験体は、母材である供試体(以下、供試体)と固着したアンカーから構成されるものとする。

供試体の形状は原則として矩形とし、きれつ等の生じていない健全な状態のものとする。供試体の最小厚さは、あと施工アンカーの埋込み長さの2倍もしくは埋込み長さに100 mmを加味した厚さ以上とする。

あと施工アンカーは、あと施工アンカーの固着性能に影響するあと施工アンカー相互の干渉あるいはあと施工アンカー周辺のコンクリートの影響などを排除した、はしあき、へりあきおよびあと施工アンカー間隔を定めて、供試体に垂直に施工する。

b. 製作方法

試験体の製作は、試験実施者が責任を持って管理し、母材コンクリートの製作、試験体の養生等を行う。アンカー筋の施工は、申請者が示す施工要領に従い申請者などが施工する。申請者などがアンカー筋の施工を行う場合は、試験実施者は必ず施工に立ち会い、施工要領に従って施工されているかについて確認する。施工時および養生時の環境は、5~35℃の環境とする。

c. 製作精度

あと施工アンカーのコンクリート部分への埋込み長さは所定の長さの±3 mm以内とし、測定した長さを有効埋込み長さとする。穿孔径は製造者が指定する誤差の範囲であることを確認する。アンカー筋の倒れは、載荷面の法線に対して2度以内とする。

d. 試験体数量

5体とする。

[解説]

1) アンカー筋はアンカー筋の径として、異形鉄筋でD10~D25までの範囲での適用が想定される。

その範囲において、申請者が適用を申請するすべての鉄筋径に対して試験を行う。アンカー筋の鋼種は申請者の申請の内容に応じ、製品に用いるものと同じものを用いる。

2) 試験体の母材に用いるコンクリートは、認証を受けようとする強度に応じたコンクリートとしな

なければならない。ただし、コンクリートの強度にはばらつきも生じることから、一定の幅を持った範囲とした。ここでの圧縮強度は、試験体の母材と同一バッチで同様の養生環境としたコンクリート供試体の強度とする。また、コンクリートの種類は普通コンクリートとしているが、適用する部位のコンクリートが軽量コンクリートである場合は、適用対象のコンクリートを考慮し、できるだけその材料および品質に近いものを用いるようにする。

母材コンクリートの製造は、JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)の規格等の品質基準に適合するものであることを確認する。例えば、JIS A 5308 の製品認証を取得しているレディーミクストコンクリート工場で製造されたものとする。コンクリートのスランプ、空気量などのフレッシュ性状は、建築工事で一般に使用されている範囲(例えば、スランプ 18 cm, 空気量 4.5%)とし、型枠(鋼管)内に適切に打ち込めるワーカビリティを有するものとする。なお本ガイドラインにて対象とする低強度コンクリートは、これまでに耐震補強技術の開発等において十分な施工実績がある範囲として、最低値を 13.5N/mm² としている。ここでの低強度コンクリートを用いる場合は、事前に試し練りを実施し、目標の強度となることに加え、施工性を確保するためには、以下のような品質、仕様を満足するとよい。

- ・ スランプ : 15±2.5cm 又は 18±2.5cm
- ・ 空気量 : 4.5±1.5%
- ・ 単位粉体量 (セメントやそれに代わる粉体状の材料の分量) : 270 kg/m³ 以上
- ・ 材料分離がないことを目視確認 (JIS A 1160 を参照)

母材コンクリートの養生期間は、所定の強度範囲となる期間でできるだけ材齢を長く確保することが望ましい。また、コンクリート打ち込み後、あと施工アンカーの施工までの期間は少なくとも7日以上とする。養生環境は、常温(5℃~35℃程度)の室内とした。屋外の場合で養生を行う場合は、日光の直射、急激な乾燥および寒気に対して適当な養生を行うことなどにより、室内と同程度の環境とすることを原則とした。

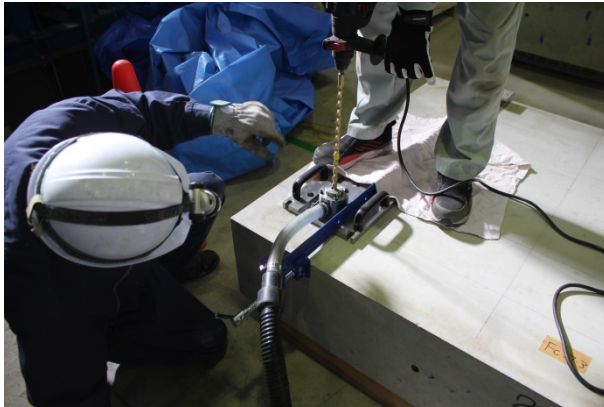
- 3) 試験体は、母材である供試体(以下、供試体)と固着したあと施工アンカーから構成されるものとする。引張試験を行うあと施工アンカーを固着するコンクリート供試体の形状は、原則として矩形とし、きれつ等の生じていない健全な状態のものとする。試験体の最小厚さはあと施工アンカーの埋込み長さの2倍もしくは埋込み長さに100 mmを加味した厚さ以上とした。

コンクリート供試体は、あと施工アンカーの固着性能に影響するあと施工アンカー相互の干渉あるいはあと施工アンカー周辺のコンクリートの影響などを排除するため、あと施工アンカー間隔を埋込み長さの2倍以上、はしあきおよびへりあきを埋込み長さの1倍以上とした。

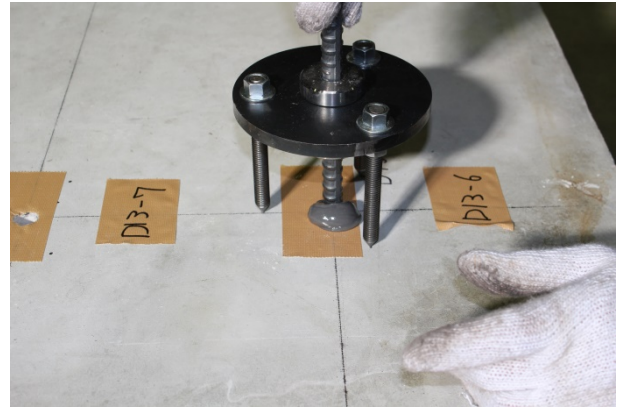
供試体の製作は、試験実施者の責任において製作する。ただし、アンカー筋の施工については、申請者もしくは申請者が指定する者が行うこととし、試験実施者は、申請者が定めた施工要領に準じて施工が実施されているかについて必ず立ち会いでの確認を行う。

試験体の製作は、載荷面に対して垂直に穿孔およびあと施工アンカー打設を行うための治具等を用いて施工するとよい。垂直に穿孔するための治具および打設時に垂直を保持するための治具の例を解図1、解図2に示す。

試験体の数量については、少なくとも5体は必要であり、より安定性を照査する場合には増やす必要がある。



解図1 穿孔用治具の例



解図2 アンカー打設用治具の例

(4) 試験方法

1) 試験装置

試験装置は、載荷装置、荷重計測装置、変位測定装置より構成されるものとする。

a. 載荷装置

- i) 載荷装置は、あと施工アンカーに引張力を与える加力装置と、その反力を支える反力台から構成される。
- ii) 加力装置は、あと施工アンカーに対して軸方向に引張力を与えられるような機構とし、想定される最大引張強度を十分上回る加力能力を有し、かつ連続的に引張力を加えられるものとする。
- iii) 反力台は、想定される最大引張耐力に対して十分な強度と剛性を有するものとする。また、反力台脚部の内法間隔は、あと施工アンカーの埋込み長さの2倍以上を原則とする。ただし、破壊モードがコーン状破壊しない場合には、あと施工アンカーの付着強度に影響しない範囲で短くできるものとする。

b. 荷重計測装置

- i) 荷重計測装置は、あと施工アンカーに加えられた荷重を正確に測定できるものとする。
- ii) 荷重計測装置は、想定される最大引張力を十分上回る容量を持ち、計測装置の精度は $\pm 1.5\%$ 以内とし、最少読取り値で最大引張荷重の $1/20(5\%)$ 以下の荷重を計測できるものとする。

c. 変位測定装置

- i) 変位測定装置は、あと施工アンカーの軸方向の変位を正確に測定できるものとする。
- ii) 変位測定装置は、想定される最大変位を十分上回る容量をもち、測定精度が $\pm 0.02 \text{ mm}$ 以内を有するものとする。
- iii) 変位測定装置の固定点は、供試体の変形の影響を受けない位置に設置する。

2) 試験方法

- i) 載荷装置、荷重計測装置および変位測定装置をセットする。
- ii) 載荷は、毎秒 $5\sim 20 \text{ N/mm}^2$ 程度の載荷速度で、あと施工アンカーの軸方向に引張力を加える。
- iii) 荷重計測と変位測定は、同時に行い連続的に記録する。
- iv) 試験終了後、破壊状況を写真により記録する。

3) 環境条件

5～35℃の環境において試験を行う。なお、特殊な環境下において使用することを想定した場合には、当該温度条件において試験を行う。

〔解説〕

1) 加力・計測方法

試験装置は、載荷装置、荷重計測装置、変位測定装置より構成されるものとする。解図3に載荷装置の参考例、解図4に荷重計測装置の例、解図5に変位測定装置の参考例を示す。

a. 載荷装置

載荷装置は、あと施工アンカーに引張力を与える加力装置と、その反力を支える反力台から構成される。加力装置は、あと施工アンカーを中心位置に設置し、加力はあと施工アンカーの軸線に沿って安定した状態で引張力を与えられるような装置とする。また、あと施工アンカーの引張耐力に対して十分な強度・剛性を持ち、引張力を円滑に作用させることができるものとする。アンカー筋と載荷用のロッドを強固に接続した状態で油圧ジャッキを用いて加力する。油圧ジャッキの下部には球座を置く(解図3の参考例は、アンカー筋を異形鉄筋用のチャックで掴んで引張力を加えている。)

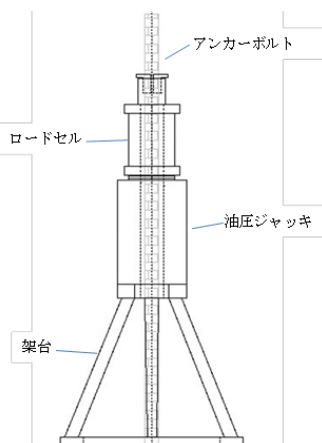
反力台は、想定される最大引張耐力に対して十分な強度と剛性を有するものとする。反力台による支持点反力は、アンカーの固着性能に影響を及ぼすため、反力台脚部の内法間隔は、あと施工アンカーの埋込み長さの2倍以上を原則とする(解図3の参考例は、D19の埋込み長さ95mmに対して内法直径が300mmの円形反力台である。)。ただし、埋込み深さが深く、明らかに鉄筋が降伏すると考えられる場合には、適切な距離を実験等により確認することで、間隔を短くできるものとする。

b. 荷重計測装置

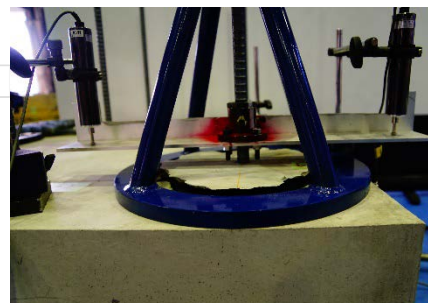
荷重を計測する装置は、あと施工アンカーに加えられた引張荷重を常にまたは定期的に、かつ正確に計測できるものでなければならない。精度のよいロードセルなどを用いて計測する必要がある。計測装置の精度は±1.5%以内とし、最小読み取り値で最大引張荷重の1/20(5%)以下の荷重を計測できるものとする。



解図3 載荷装置の例



解図4 荷重測定装置の例



解図5 変位測定装置の例

c. 変位測定装置

変位を測定する装置は、あと施工アンカーの軸方向変位(以下、アンカー軸方向変位という。)を常にまたは定期的に、かつ正確に測定できるものでなければならない。このため、精度のよい

変位計等を用いて測定する。測定装置の精度は±0.02 mm 以内とする。

変位測定装置は、載荷装置から独立して設け、アンカー軸方向変位は、少なくとも左右対称に2か所で測定する(解図5に示すアンカー軸方向変位には、アンカー筋の伸び変位も含んでいるため、供試体表面からの測定位置を、適宜、決める必要がある)。また、供試体表面での変位計固定位置は、想定されるコーン状破壊領域外とし、固定箇所は供試体の表面あるいは側面としてよい。

2) 試験方法

荷重を計測する装置は油圧ジャッキ等を用いて毎秒5~20 N/mm²(D13で38.1~152 kN/minに相当)の速度で載荷する。載荷および測定は、最大荷重を記録した後、試験体が破壊するまで載荷を継続する。データロガーの測定間隔は1秒もしくはそれ以下が望ましい。

3) 環境条件

試験は、原則5~35℃環境下の試験室内で行う。屋外で実施する場合は、室内と同等な環境下で行えるよう適宜対策を施す。

試験時の環境条件は、特に有機系の樹脂に影響を与える可能性があるため、気温が管理された試験室内で実施する。試験体は、予め試験時の温度と同じ条件で養生しておき、室温と同程度とする。また、特殊な環境に曝される環境で使用されることが想定される場合には、想定される温度での試験を行う。特に、エポキシ樹脂については、40℃を超える範囲での使用が想定される場合には想定される環境条件での試験を実施する。

(5) 試験結果の整理

1) 引張強度の評価

接着系あと施工アンカーの終局引張耐力は、破壊形式に応じて(1)式から(3)式による計算値に対して95%以上の信頼性を有することを確認する。

a. コーン破壊したアンカーの終局引張耐力計算値

$$T_{cc} = 0.23 \sqrt{\sigma_B} \cdot A_c \dots\dots\dots (1) \text{式}$$

ここで、 T_{cc} : コーン破壊したあと施工アンカーの終局引張耐力計算値(N)

σ_B : 試験体コンクリートの試験実施日の圧縮強度(N/mm²)

A_c : コーン状破壊面の有効水平投影面積(mm²)で、次式による。

$$A_c = \pi \cdot \ell_e \cdot (\ell_e + d_a)$$

ℓ_e : アンカー筋の有効埋込み長さ(mm)で次式による。なお、アンカー筋先端形状を寸切りとした場合は、 $\ell_e = L$ とする。

$$\ell_e = L - d_a$$

L : アンカー筋の埋込み長さ

d_a : アンカー筋の呼び径(mm)で、異形鉄筋の場合、呼び名に用いた数値。

b. 付着破壊したアンカーの終局引張耐力計算値

$$T_{cb} = \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot \ell_e \dots\dots\dots (2) \text{式}$$

ここで、 T_{cb} : 付着破壊したあと施工アンカーの終局引張耐力計算値(N)

τ_a : 接着系あと施工アンカーの付着強度信頼値(N/mm²)で、次式による。

$$\tau_a = 10 \sqrt{\frac{\sigma_B}{21}}$$

ℓ_e, d_a : 式(1)の記号の説明による。

c. アンカー筋が破壊したアンカーの終局引張耐力計算値

$$T_{mu} = m \sigma_u \cdot s a_e \quad \dots\dots\dots (3) \text{式}$$

ここで, T_{mu} : アンカー筋が引張破断したアンカーの終局引張耐力計算値(N)

$m \sigma_u$: アンカー筋の引張強さ(N/mm²)

$$m \sigma_u = 1.1 \sigma_y$$

σ_y : アンカー筋の規格降伏点(N/mm²)

$s a_e$: アンカー筋の公称断面積(mm²)

d. 95%以上の終局引張耐力の信頼性は、試験体母材コンクリート圧縮強度の水準毎、破壊形式毎に次式を満たすことにより確認する。

$$X_{mean} - t \cdot s \geq 1.0 \quad \dots\dots\dots (4) \text{式}$$

ここで, X_{mean} : (実験値/終局引張耐力計算値)の平均値で、次式による。

$$X_{mean} = \sum_{i=1}^N X_i / N \quad \dots\dots\dots (5) \text{式}$$

X_i : (実験値/終局引張耐力計算値)

N : 試験体数(同一破壊形式の試験体数)

t : (実験値/終局引張耐力計算値)の分布形状で、t分布表において片側95%の信頼限界を与える数値($N=5$ の時 $t=2.132$)

s : (実験値/終局引張耐力計算値)の標本標準偏差で、次式による。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - X_{mean})^2}{N-1}} \quad \dots\dots\dots (6) \text{式}$$

2) 引張剛性

あと施工アンカーの軸方向変位量が、コンクリートの圧縮強度の水準毎、アンカー筋の種別・径毎に下記の条件を95%以上の信頼性にて満たすこと。

a. $\min.\{2/3 \cdot T_{my}, 0.4T_{cc}, 0.4T_{cb}\}$ 時における軸方向の変位量 δ が、0.3 mm 以下(図1)

b. $\min.\{T_{my}, 0.6T_{cc}, 0.6T_{cb}\}$ 時における軸方向の変位量 δ が、1.0 mm 以下(図1)

ここで, T_{my} : アンカー筋の降伏引張耐力(N)で、次式による。

$$T_{my} = \sigma_y \cdot s a_e \quad \dots\dots\dots (7) \text{式}$$

σ_y : アンカー筋の規格降伏点(N/mm²)

$s a_e$: アンカー筋の公称断面積(mm²)

T_{cc} : コーン状破壊したあと施工アンカーの終局引張耐力計算値(N)で、(1)式による。

T_{cb} : 付着破壊したあと施工アンカーの終局引張耐力計算値(N)で、(2)式による。

95%以上の軸方向変位量の信頼性は、次式を満たすことにより確認する。

$$\delta_{mean} + t \cdot s \leq \delta_T \quad \dots\dots\dots (8) \text{式}$$

ここで, δ_{mean} : a.およびb.に規定する荷重時における軸方向変位量の平均値(mm)

t : a.およびb.に規定する荷重時における軸方向変位量の分布形状で、t分布表において片側95%の信頼限界を与える数値($N=5$ の時 $t=2.132$)。

s : a.およびb.に規定する荷重時における軸方向変位量の標準偏差で、次式

による。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_i - \delta_{mean})^2}{N-1}} \dots\dots\dots (9) \text{式}$$

- δ_i : a.およびb.に規定する荷重時における試験体軸方向変位量(mm)
- N : コンクリート圧縮強度の水準かつアンカー筋の種別・径毎の試験体数
- δ_T : a.およびb.に記載の荷重時における方向変位量規定値(mm)

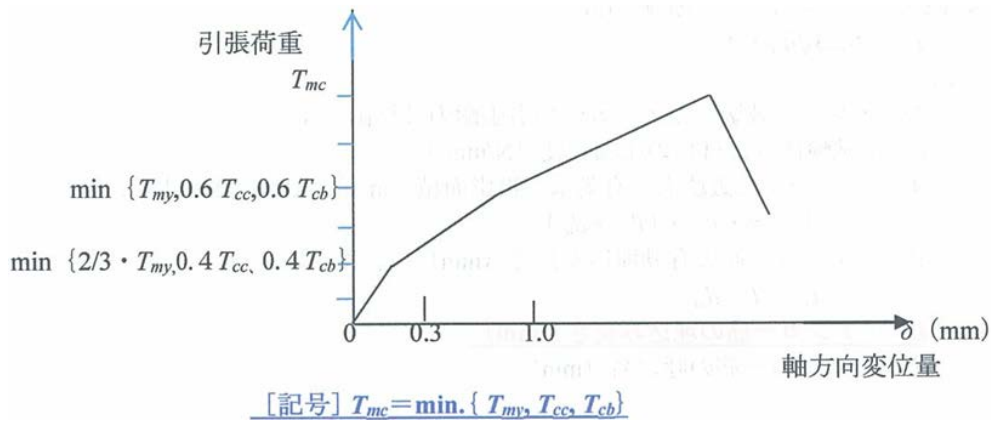


図1 あと施工アンカーの引張荷重～軸方向変位量関係模式図

〔解説〕

1) 接着系あと施工アンカー筋の引張に対する強度評価式は、平成18年7月7日付け国住指第1015号「あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針」において、接着系あと施工アンカーを用いて既存の架構内に鉄筋コンクリート増設壁を設置する、あるいは枠付き鉄骨ブレースを設置する工法を対象として示されており、ここでも同様の式を記載している。

また、引張強度のばらつきはスチューデントのt分布に従うと仮定して、試験体本数との関係により95%信頼下限値を求め、それが申請者が選択した基準付着強度を満足するかどうかを評価することとした。これまでの試験結果などから、試験体数を5体とした場合には、試験における最小値と95%信頼下限値が概ね同程度の値となることが確認されている。また、変動係数が極端に大きい場合には試験体の施工や試験の実施に問題があることも考えられるため、変動係数が15%を超えるような場合には、ばらつきの原因を調査し、再試験を行う。また、試験体の数量を5体以上で実施した場合は、それに適したt分布値を用いて評価してよい。

2) 接着系あと施工アンカーの品質確認のために引張剛性が確保されていることを確認する。これらは(社)日本建築あと施工アンカー協会の製品認証において実施されている方法を採用している。また、引張剛性のばらつきも引張強度同様に扱うこととしている。

(6) 報告

試験終了後、試験実施者は以下の項目について報告する。

- 1) 試験実施者に関する事項(試験担当者の氏名・所属)
- 2) 試験実施日程に関する事項(母材コンクリート打設, アンカー筋施工, 引張強度試験実施)
- 3) 試験の対象とした製品に関する事項(申請者, 製品名, ロット番号)

- 4) 母材コンクリートに関する事項(レディーミクストコンクリート製造者, 調合および使用材料, 打設後の養生, 圧縮強度試験結果)
- 5) 引張強度試験結果(試験体ごとの荷重-変位曲線, 最大耐力, 引張強度, 引張剛性, 破壊モード, 破壊状況写真)
- 6) 引張強度試験の計算結果(引張強度の平均値および95%信頼下限値, 引張剛性の平均値および95%信頼下限値)
- 7) その他試験実施における特記事項

2-5-5 せん断試験

以下、接着系あと施工アンカーのせん断試験方法(案)を示す。目次立ては、本報とは独立している。

接着系あと施工アンカーのせん断試験方法(案)・同解説

(1) 総則

1) 目的

本試験方法は、接着系あと施工アンカー製品のせん断強度試験を実施することによって、強度とその時のせん断変形量を測定し、そのあと施工アンカー製品が必要な終局せん断強度およびせん断剛性を有していることを確認するために行う。

2) 適用範囲

本試験の適用対象とするあと施工アンカー製品は、アンカー筋の径として、異形鉄筋の D10～D25 の呼び径の範囲で、申請者が申請する範囲とする。また、本試験方法案に規定する試験体および試験方法について、同等の評価結果が得られることが確認された場合にはこれによることができる。

3) 試験実施者および申請者

本試験方法(案)により試験を行う者(試験実施者)は、あと施工アンカーのせん断強度試験を適切に実施でき、かつ第三者的な立場で試験を実施し、その結果を報告できる者でなければならない。申請者は、あと施工アンカー製品の製造者もしくはそのあと施工アンカーを用いて工事を行う者またはその代理者とする。

[解説]

1) 本試験方法は、接着系あと施工アンカーを構造部材に適用する場合に、あと施工アンカー製品に求められるせん断性能を有していることを確認するための試験方法とその評価方法について示したものである。接着系あと施工アンカーおよび接着系あと施工アンカーを用いた構造部材が所要の構造性能を有することの妥当性を審査する場合には、本試験方法に従って評価を行うことを前提としている。

2) 本試験方法で想定している構造部材に適用されるあと施工アンカーは、壁開口補強筋やスラブ筋の一部として、構造部材への定着のために使用されるアンカー筋である。したがって、適用するアンカー筋の径は、D10～D25 の範囲とした。また、本試験方法案に規定した方法は、前項の目的に照らして適切な評価を行うための一例となる試験方法であり、試験体の条件や試験装置、試験方法などについて、本試験方法案と同等の評価結果が得られることが確認された場合には、それらの方法によることができる。

3) ここでの試験実施者とは評価試験を適切に実施できる者を指し、試験結果を参照し性能評価業務などを行う評価者とは異なる。試験実施者の例として、下記の条件を満たす第三者機関とする。

- ・ ISO/IEC 17025 (JIS Q 17025) に基づく試験所認定を受けた試験機関，国際 MRA 対応認定を受けた国外の試験機関あるいはそれらと同等の機関などで申請者との利益相反を生じる関係にならないこと
- ・ 接着系あと施工アンカーのせん断試験の実施に必要な加力装置および測定装置を有し，それらの精度が確認されていること。また，適切に試験を実施できること
- ・ 試験報告書の記載事項に対する責任を担保できること

また、ここでの申請者については、あと施工アンカー製品の製造者のほか、当該工業あと施工アンカーを使用して改修工事を行う場合の所有者、設計者、施工者などが想定される。

(2)用語

1) 接着系あと施工アンカー製品

アンカー筋の固着のための樹脂もしくはセメント系の接着剤を使用したあと施工アンカー製品。カプセル方式の場合は、カプセルとその内容物およびアンカー筋，注入方式の場合は，カートリッジとその内容物およびアンカー筋の総称。ただし，せん断強度試験においては，アンカー筋は試験実施者が指定するものを用いる。

〔解説〕

- 1) ここで定義するあと施工アンカー製品は，接着剤だけでなくアンカー筋や接着剤のカートリッジ等の総称を指す。

(3)試験の対象および試験体

1) アンカー筋

せん断強度試験において使用するアンカー筋は，異形鉄筋(JIS G 3112 適合品)とする。

2) 母材コンクリート

a. 対象

普通コンクリートを対象とする。

b. 圧縮強度

圧縮強度の範囲は，試験実施時において $18\sim 24\text{ N/mm}^2$ および $30\sim 36\text{ N/mm}^2$ の範囲とし，それぞれの強度範囲において評価を行う。適用範囲が低強度コンクリート($13.5\sim 18\text{ N/mm}^2$)を含む場合は，その範囲も対象として評価を行う。圧縮強度の確認は，母材コンクリートと同じ養生条件とした円柱供試体($\phi 100\times 200\text{ mm}$)により，せん断強度試験を実施する材齢と同時に試験を行う。

c. 養生

母材コンクリート打込み後，所定の強度に達したことが確認された後にアンカーの施工を行う。母材コンクリートの養生環境は，原則として常温の室内とする。ただし，屋外の場所で養生を行う場合は，日光の直射，急激な乾燥および寒気に対して適当な養生を行うものとする。

3) 試験体

a. 形状および寸法

試験体は，母材である供試体(以下，供試体)と固着したあと施工アンカーから構成されるものとする。

供試体の形状は原則として矩形とし，きれつ等の生じていない健全な状態のものとする。供試体の最小厚さは，アンカーの埋込み長さの2倍もしくは埋込み長さに 100 mm を加味した厚さ以上とする。ただし，はしあき部分がコーン破壊するような場合には，供試体の厚さを走はしあき寸法の1.5倍以上とする。

あと施工アンカーは，あと施工アンカーのせん断性能に影響するあと施工アンカー相互の干渉あるいはあと施工アンカー周辺のコンクリートの影響などを排除した，はしあき，へりあきおよびあと施工アンカー間隔を定めて，供試体に垂直に施工する。ただし，はしあき部分がコーン破壊するような場合には，あと施工アンカー間隔をはしあき寸法の3倍以上とする。

b. 製作方法

試験体の製作は，試験実施者が責任を持って管理し，母材コンクリートの製作，試験体の養生等

を行う。アンカー筋の施工は、申請者が示す施工要領に従い申請者などが施工する。申請者などがアンカー筋の施工を行う場合は、試験実施者は必ず施工に立ち会い施工要領に従って施工されているかについて確認する。施工時および養生時の環境は、5～35℃の環境とする。

c. 製作精度

あと施工アンカーのコンクリート部分への埋込み長さは所定の長さの±3 mm以内とし、測定した長さを有効埋込み長さとする。穿孔径は製造者が指定する誤差の範囲であることを確認する。アンカー筋の倒れは、載荷面の法線に対して2度以内とする。

d. 試験体数量

5体とする。

〔解説〕

- 1) アンカー筋の径として、異形鉄筋でD10～D25までの範囲での適用が想定される。その範囲において、申請者が適用を申請するすべての鉄筋径に対して試験を行う。アンカー筋の鋼種は申請者の申請の内容に応じ、製品に用いるものと同じものを用いる。
- 2) 試験体の母材に用いるコンクリートは、認証を受けようとする強度に応じたコンクリートとしなければならない。ただし、コンクリートの強度にはばらつきも生じることから、一定の幅を持った範囲とした。ここでの圧縮強度は、試験体の母材と同一バッチで同様の養生環境としたコンクリート供試体の強度とする。また、コンクリートの種類は普通コンクリートとしているが、適用する部位のコンクリートが軽量コンクリートである場合は、適用対象のコンクリートを考慮し、できるだけその材料および品質に近いものを用いるようにする。

母材コンクリートの製造は、JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)の規格等の品質基準に適合するものであることを確認する。例えば、JIS A 5308の製品認証を取得しているレディーミクストコンクリート工場で製造されたものとする。コンクリートのスランプ、空気量などのフレッシュ性状は、建築工事で一般に使用されている範囲(例えば、スランプ 18 cm, 空気量 4.5%)とし、型枠(鋼管)内に適切に打ち込めるワーカビリティを有するものとする。なお本ガイドラインにて対象とする低強度コンクリートは、これまでに耐震補強技術の開発等において十分な施工実績がある範囲として、最低値を13.5N/mm²としている。ここでの低強度コンクリートを用いる場合は、事前に試し練りを実施し、目標の強度となることに加え、施工性を確保するためには、以下のような品質、仕様を満足するとよい。

- ・ スランプ : 15±2.5cm 又は 18±2.5cm
- ・ 空気量 : 4.5±1.5%
- ・ 単位粉体量(セメントやそれに代わる粉体状の材料の分量) : 270 kg/m³ 以上
- ・ 材料分離がないことを目視確認(JIS A 1160を参照)

母材コンクリートの養生期間は、所定の強度範囲となる期間でできるだけ材齢を長く確保することが望ましい。また、コンクリート打ち込み後、あと施工アンカーの打設までの期間は少なくとも7日以上とする。養生方法は、常温(5℃～35℃程度)の環境とした。屋外の場所で養生を行う場合は、日光の直射、急激な乾燥および寒気に対して適当な養生を行うことなどにより、室内と同程度の環境とすることを原則とした。

- 3) 試験体は、母材である供試体(以下、供試体)と固着したアンカーから構成されるものとする。せん断試験を行うあと施工アンカーを固着するコンクリート供試体の形状は、原則として矩形とし、きれつ等の生じていない健全な状態のものとする。試験体の最小厚さはあと施工アンカーの

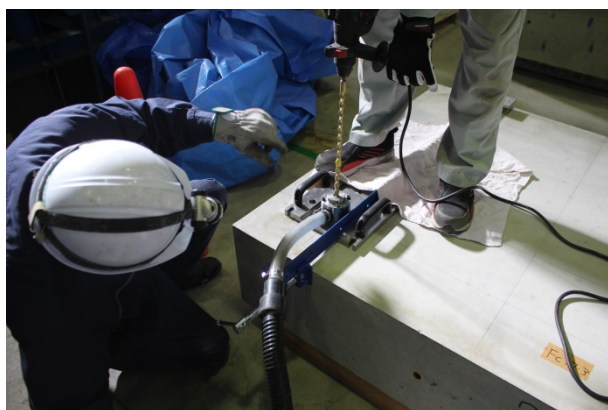
埋込み長さの2倍もしくは埋込み長さに100 mmを加味した厚さ以上とした。ただし、はしあき部分がコーン状破壊するような場合には、供試体の厚さをはしあき寸法の1.5倍以上とした。

コンクリート供試体は、あと施工アンカーの固着性能に影響するあと施工アンカー相互の干渉あるいはあと施工アンカー周辺のコンクリートの影響などを排除するため、あと施工アンカー間隔を埋込み長さの2倍以上、はしあきおよびへりあきを埋込み長さの1倍以上とした。ただし、はしあき部分がコーン状破壊するような場合には、あと施工アンカー間隔をはしあき寸法の3.0倍以上とした。

供試体の製作は、試験実施者の責任において製作する。ただし、アンカー筋の施工については、申請者もしくは申請者が指定する者が行うこととし、試験実施者は、申請者が定めた施工要領に準じて施工が実施されているかについて必ず立ち会いでの確認を行う。

試験体の製作は、載荷面に対して垂直に穿孔およびアンカー打設を行うための治具等を用いて施工するとよい。垂直に穿孔するための治具および打設時に垂直を保持するための治具の例を解図1、解図2に示す。

試験体の数量については、少なくとも5体は必要であり、より安定性を照査する場合には増やす必要がある。



解図1 穿孔用治具の例



解図2 アンカー打設用治具の例

(4) 試験方法

1) 試験装置

試験装置は、載荷装置、荷重計測装置、変位測定装置より構成されるものとする。

- a. 載荷装置はあと施工アンカーにせん断力を与える加力装置とその反力を支える反力装置から構成される。
- b. 加力装置はあと施工アンカーの軸方向に対して直角にせん断力を与えられるような機構とし、想定される最大せん断強度を十分上回る加力装置を有し、かつ連続的にせん断力を加えられるものとする。
- c. 反力装置は、想定される最大せん断耐力に対して十分な強度を有し、加力によってせん断力方向が変わらないような十分な剛性を有するものとする。

2) 荷重計測装置

- a. 荷重計測装置は、あと施工アンカーに加えられたせん断力を正確に測定できるものとする。
- b. 荷重計測装置は、想定される最大せん断力を十分上回る容量を持ち、計測装置の精度は±1.5%

以内とし、最少読取り値で最大引張荷重の1/20(5%)以下の荷重を計測できるものとする。

3) 試験方法

試験は、以下の手順によって行う。

- a. 載荷装置、荷重計測装置および変位計測装置をセットする。
- b. 載荷速度は、平均増加率、毎秒5~20 N/mm²程度で、あと施工アンカーにせん断力を加える。
- c. 荷重計測と変位測定は、同時に行い記録する。
- d. 試験終了後、せん断破壊位置、破壊状況、加力用鋼板取り付け面のせん断破壊状況を写真等により記録する。

4) 環境条件

5~35℃の環境において試験を行う。なお、特殊な環境下において使用することを想定した場合には、当該温度条件において試験を行う。

[解説]

1) 加力・計測方法

加力装置は、載荷装置、荷重計測装置、変位測定装置より構成されるものとする。解図3に載荷装置の参考例を示す。

a. 載荷装置

載荷装置は、あと施工アンカーに加力するための加力用鋼板とあと施工アンカーの軸方向に対して直角方向にせん断力を与えられる載荷部からなる加力装置と、その反力を支える反力装置から構成される。加力用鋼板の一例を解図4に示す。

あと施工アンカーには加力用鋼板を介してせん断力を加えられるようにする。また、あと施工アンカーに作用させるせん断力は一面せん断力とし、加力用鋼板は、あと施工アンカー以外により面外方向に拘束されないようにする。加力用鋼板の孔径は、できるだけボルト径に近いことが望ましく(解表1)、加力用鋼板の板厚さおよび材質は、あと施工アンカーの支圧に耐えられるように定める(解表2)。

解表1 アンカー筋の径と加力用鋼板の孔径(単位: mm)

アンカー筋径*	D10(11)	D13(14)	D16(18)	D19(21)	D22(25)	D25(28)
加力用鋼板孔径	12	16	20	23	27	30

*:()内の値は異形鉄筋の最外径

解表2 加力用鋼板の板厚さ(単位: mm)

アンカー筋径	D10(11)	D13(14)	D16(18)	D19(21)	D22(25)	D25(28)
加力用鋼板板厚*1	13	15	20	25	30	38

*: 加力用鋼板(SM490, $F=330\text{ N/mm}^2$), アンカーボルト(F11T, $\sigma_u=1100\text{ N/mm}^2$), あと施工アンカーの最大せん断荷重($P_s=\sigma_u \times A_b / \sqrt{3}$ (σ_u : 引張強度, A_b : 断面積)), 加力用鋼板孔部支圧強度($P_l=f_t \times d_a \times t$ (f_t : 支圧応力度 [$f_t \geq 1.2F$], d_a : ボルト径, t : 板厚)), $P_l \geq P_s$ となるように t を求めた。

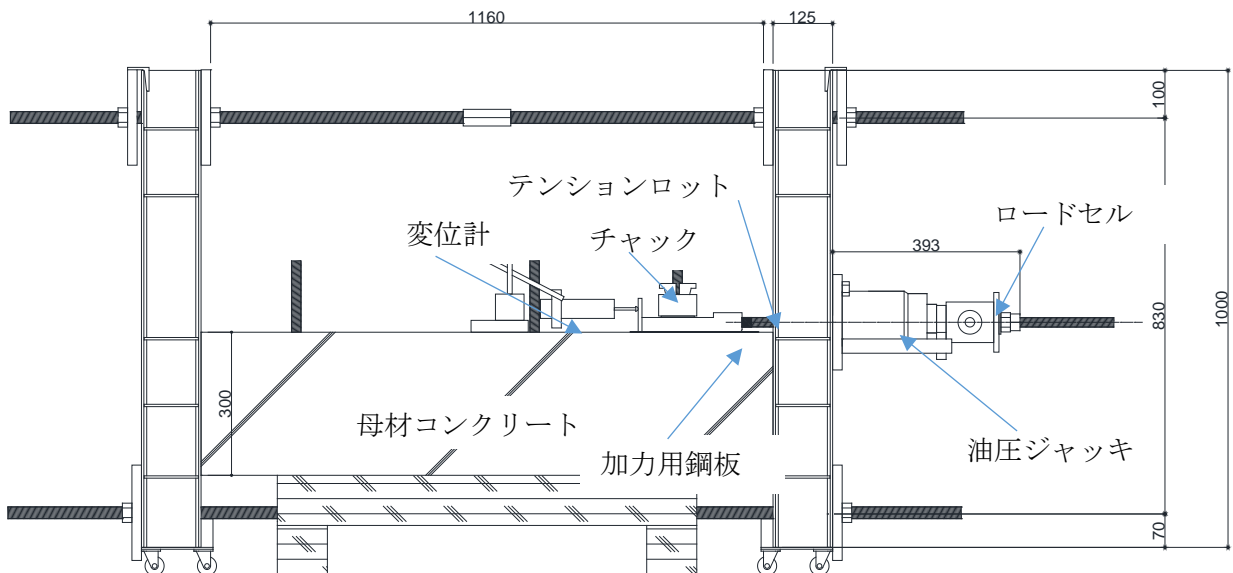
試験用アンカーボルトにより加力用鋼板の孔部分は、アンカーボルトから大きな局部応力を受ける。そのため、試験時に用いられる加力用鋼板は、通常用いるSS400, SM490程度の材質では、数回の使用で、局部応力を受ける部分が大きく局部変形し使用に耐えられなくなるため、S45C, S50C, SCM435などの高強度・高硬度材料が使われている。さらに、孔部分を保護する目的から孔部分のみ高強度・高硬度とする方式で試験されるようになってきた。したがって、加力用鋼板は、解図5に示すブッシュを介し・同一の加力用鋼板で各種のサイズのあと施工アンカーを試験してもよい。

解図5にD10, D16, D19のブッシュの参考例を示す。

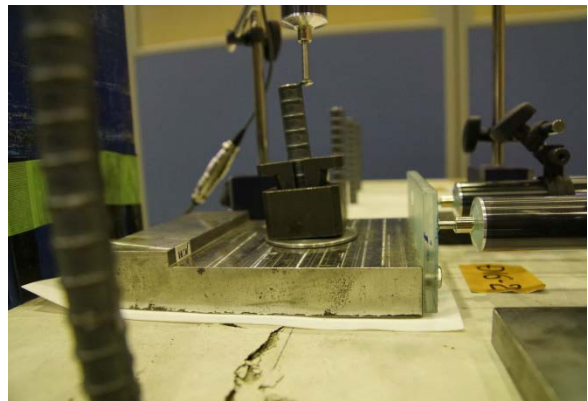
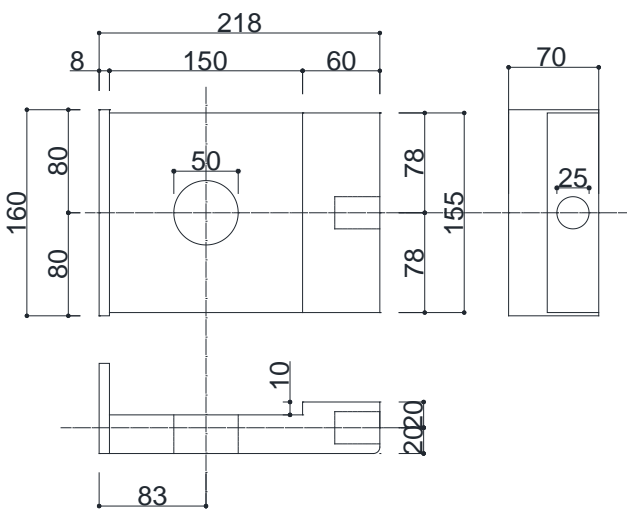
加力用鋼板の各辺の長さは、孔を設けることによる応力集中に対して、十分な強度と剛性を有するように定める。また、せん断力方向に対しては、取り付け鋼板の回転が生じにくい長さで面外変形が生じにくい剛性とする。加力用鋼板の一辺の大きさはアンカーボルト径の3.0～8.0倍程度とする。

外力は、あと施工アンカー軸方向に対し直角方向に、即ち、加力用鋼板の面内方向に作用させる。載荷部は、あと施工アンカーをせん断破壊させるための十分な荷重と変位容量を有し、連続的に加力できる装置とする。

反力装置は、想定される最大せん断力に対して十分な強度を有し、加力によってせん断力方向が変わらないような十分な剛性を有するものとする。はしあき部分がコーン状破壊するような場合には、せん断力の加力軸から両側にアンカー寸法の1.5倍以上の間隔をあけて反力装置を設置するものとする。



解図3 載荷装置の例



解図4 加力用鋼板の例

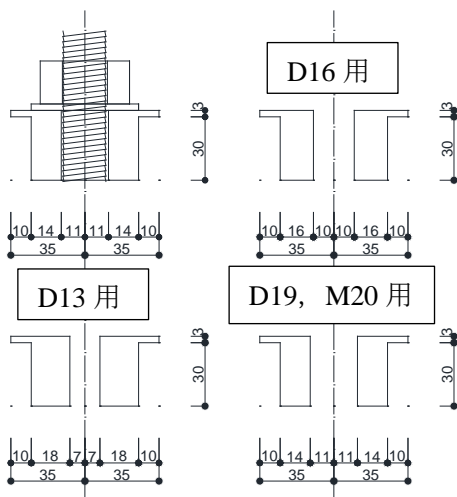
b. 荷重計測装置

荷重計測装置は、あと施工アンカーに加えられたせん断力を常にまたは定期的に、かつ正確に計測できるものでなければならない。荷重計測装置は、信頼性のない許容以上の荷重計測をしないように、想定される最大せん断耐力を十分上まわる容量を有するものを用いる。精度の良いロードセルなどを用いて測定する必要がある。計測装置の精度は±1.5%以内とし、最小読み取り値で最大せん断荷重の1/20(5%)以下の荷重を計測できるものとする。

c. 変位測定装置

変位測定装置は、あと施工アンカーのせん断力方向のせん断変位を常にまたは定期的に、かつ正確に測定できるものでなければならない。ボルトの抜け出し破断、コンクリートの支圧破壊を伴うボルトせん断破壊における最大せん断荷重時のせん断変位は大きな値を示すが、本せん断試験法では、あと施工アンカーにより物をコンクリート構造物に取付けた場合のせん断力伝達性能を把握することに主眼を置いていることから、アンカー筋径程度のせん断変位量が測定できれば良いものとする。せん断変位測定装置の読み取りまたは記録精度は、アンカー筋径の1/500以下の公差のものとする。

変位測定装置の一例を解図6に示した。変位測定装置は、載荷装置から独立して設け、荷重の影響を受けないように設置する。あと施工アンカー水平変位は、加力用鋼板の水平変位量として良いが、せん断力方向に対して同一面において、可能な限りアンカーおよびコンクリート面に近い位置の水平変位量を測定するものとする。



解図5 加力用鋼板のブッシュの例



解図6 変位測定装置の例

2) 試験方法

荷重を計測する装置は油圧ジャッキ等を用いて毎秒5~20 N/mm²(D13で38.1~152 kN/minに相当)の速度で載荷する。載荷および測定は、試験体の破壊時まで、またはアンカー筋径程度のせん断変位量まで継続する。データロガーの測定間隔は1秒もしくはそれ以下が望ましい。

荷重および変位の測定は、せん断変位がアンカー筋径程度まで行う。ただし、最大荷重は測定する。荷重-せん断変位関係で剛性の変化点について、実験終了後に確認できるように、試験中も荷重-せん断変位関係をモニターするなどして、荷重とせん断変位の関係を正確に評価できるように

測定を行う必要がある。また、加力用鋼板のせん断スリップによる音の発生など、途中経過を記録する。

なお、**解図7**に実験で得られたせん断力(荷重)－せん断変形(変位)の関係の参考例を示す。通常、参考例で示した加力装置においては、加力用鋼板またはブッシュの孔においてアンカー筋と孔壁に隙間があるため、修正前の実験データのように加力初期時にアンカー筋が孔壁に接触するまでにスリップが生じる。ここでは、このスリップに関する修正方法を参考例として示す。接着系あと施工アンカーのせん断剛性に影響する要因はコンクリートの支圧強度(圧縮強度)と考えられる。したがって、データの補正は、アンカー筋を定着した母材コンクリートの支圧強度を評価する(**解1**)式を用いて修正する。

$$q_{a2} = 0.5\sqrt{F_c \cdot E_c} \cdot sc a \quad \dots\dots\dots \text{(解1)式}$$

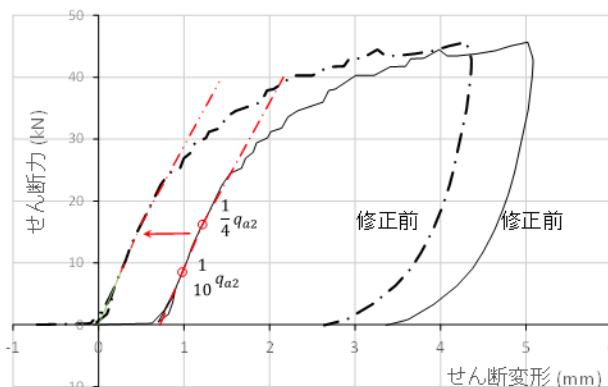
ここで、 q_{a2} : 定着したコンクリート母材の支圧強度により決まる場合の接着系アンカーボルト1本当たりのせん断強度

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)

$sc a$: 接着系アンカーボルトの断面積で、軸部断面積とねじ部有効断面積の小なる値とする。

データは、ほぼ弾性範囲であると思われる区間での剛性を $1/10q_{a2}$ と $1/4q_{a2}$ から求め、その剛性からせん断力が0の時のせん断変位を求め、求めた変位が原点になるようにデータを補正する。



解図7 データの補正方法

3) 環境条件

試験は、原則 5～35℃環境下の試験室内で行う。屋外で実施する場合は、室内と同等な環境下で行えるよう適宜対策を施す。

試験時の環境条件は、特に有機系の樹脂に影響を与える可能性があるため、気温が管理された試験室内で実施する。試験体は、予め試験時の温度と同じ条件で養生しておき、室温と同程度とする。また、特殊な環境に曝される環境で使用されることが想定される場合には、想定される温度での試験を行う。特に、エポキシ樹脂については、40℃を超える範囲での使用が想定される場合には想定される環境条件での試験を実施する。

(5) 試験結果の整理

1) せん断強度の評価

接着系あと施工アンカーの終局せん断耐力は、破壊形式に応じて(1)式および(2)式による計算値に対して95%以上の信頼性を有することを確認する。

a. コンクリートが支圧破壊した時のあと施工アンカーの終局せん断耐力計算値

$$Q_{mc} = 0.4 \sqrt{E_c \cdot \sigma_B \cdot s a_e}, \text{ ただし, } 500 \leq \sqrt{E_c \cdot \sigma_B} \leq 900 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots (1) \text{ 式}$$

ここで、 Q_{mc} : コンクリートが支圧破壊した時のあと施工アンカーの終局せん断耐力計算値(N)

E_c : 試験体コンクリートの試験実施日のヤング係数(N/mm²)で、圧縮強度より推定してもよい。

σ_B : 試験体コンクリートの試験実施日の圧縮強度(N/mm²)

$s a_e$: アンカー筋の公称断面積(mm²)

b. アンカー筋が破断した時のあと施工アンカーの終局せん断耐力計算値

$$Q_{mu} = \frac{m \sigma_u}{\sqrt{3}} \cdot s a_e \dots\dots\dots (2) \text{ 式}$$

ここで、 Q_{mu} : アンカー筋が破断した時のあと施工アンカーの終局せん断耐力計算値(N)

$m \sigma_u$: アンカー筋の規格引張強さ(N/mm²)

$s a_e$: アンカー筋の公称断面積(mm²)

c. 95%以上の終局せん断耐力の信頼性は、破壊形式毎に(3)式を満たすことにより確認する。

$$X_{mean} - t \cdot s \geq 1.0 \dots\dots\dots (3) \text{ 式}$$

ここで、 X_{mean} : (実験値/終局せん断耐力計算値)の平均値で、(4)式による。

$$X_{mean} = \sum_{i=1}^N X_i / N \dots\dots\dots (4) \text{ 式}$$

X_i : (実験値/終局せん断耐力計算値)

N : 試験体数(同一破壊形式の試験体数)

t : (実験値/終局せん断耐力計算値)の分布形状で、t分布表において片側95%の信頼限界を与える数値($N=5$ の時 $t=2.132$)

s : (実験値/終局せん断耐力計算値)の標準偏差で、(5)式による

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - X_{mean})^2}{N-1}} \dots\dots\dots (5) \text{ 式}$$

2) せん断剛性

あと施工アンカーの水平変位量が、コンクリートの圧縮強度の水準毎、アンカー筋の種別・呼び径ごとに下記の条件を95%以上の信頼性にて満たすことを確認する。

a. $0.6Q_{mc}$ 時および $0.6Q_{mu}$ における水平変位量が3mm以下または $0.1d_a$ (d_a :アンカー筋呼び径)以下

ここで、 Q_{mc} : (1)式による計算値。

Q_{mu} : (2)式による計算値。

95%以上のせん断剛性の信頼性は、(6)式を満たすことにより確認する。

$$\delta_{mean} + t \cdot s \leq \delta_T \dots\dots\dots (6) \text{ 式}$$

ここで、 δ_{mean} : 上記 a.に規定する荷重時における水平変位量の平均値(mm)

t : 上記 a.に規定する荷重時における水平変位量の分布形状で、t分布表にお

いて片側 95%の信頼限界を与える数値(N=5 の時 $t=2.132$)

s : 上記 a.に規定する荷重時における水平変位量の標本標準偏差で、(7)式による。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta_i - \delta_{mean})^2}{N-1}} \dots\dots\dots (7) \text{式}$$

δ_i : 上記 a.に規定する荷重時における試験体水平変位量(mm)

N : コンクリート圧縮強度の水準かつアンカー筋の種別・径毎の試験体数

δ_T : 上記 a.に記載の荷重時における水平方向変位量規定値(mm)

〔解説〕

1) 接着系あと施工アンカー筋のせん断に対する強度評価式は、コンクリートの支圧で決定する場合、アンカー筋の耐力で決定する場合の2通りがある。コンクリートの支圧により決定する式は、平成18年7月7日付け国住指第1015号「あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針」において、接着系あと施工アンカーを用いて既存の架構内に鉄筋コンクリート増設壁を設置する、あるいは枠付き鉄骨ブレースを設置する工法を対象として示されており、ここでも同様の式を記載している。一方、アンカー筋の耐力で決定する場合は、政令92条を準用した(2)式を用いることとする。なお当該式は日本建築あと施工アンカー協会の製品認証審査においても用いられている実績がある。

また、せん断強度のばらつきはスチューデントのt分布に従うと仮定して、試験体本数との関係により95%信頼下限値を求め、それが申請者が選択した基準付着強度を満足するかどうかを評価することとした。これまでの試験結果などから、試験体数を5体とした場合には、試験における最小値と95%信頼下限値が概ね同程度の値となることが確認されている。また、変動係数が極端に大きい場合には試験体の施工や試験の実施に問題があることも考えられるため、変動係数が15%を超えるような場合には、ばらつきの原因を調査し、再試験を行う。また、試験体の数を5体以上で実施した場合は、それに適したt分布値を用いて評価してよい。

2) 接着系あと施工アンカーの品質確認のためにせん断剛性が確保されていることを確認する。これらは(社)日本建築あと施工アンカー協会の製品認証において実施されている方法を採用している。また、せん断剛性のばらつきも引張強度同様に扱うこととしている。

(6) 報告

試験終了後、試験実施者は以下の項目について報告する。

- 1) 試験実施者に関する事項(試験担当者の氏名・所属)
- 2) 試験実施日程に関する事項(母材コンクリート打設、アンカー筋施工、せん断強度試験実施)
- 3) 試験の対象とした製品に関する事項(申請者、製品名、ロット番号)
- 4) 母材コンクリートに関する事項(レディーミクストコンクリート製造者、調合および使用材料、打設後の養生、圧縮強度試験結果)
- 5) せん断強度試験結果(試験体ごとの荷重-変位曲線、最大耐力、せん断強度、せん断剛性、破壊モード)
- 6) せん断強度試験の計算結果(せん断強度の平均値および95%信頼下限値、せん断剛性の平均値および95%信頼下限値)

び95%信頼下限値)

7) その他試験実施における特記事項

2-6 まとめ

2.1 節では、本課題において適用を検討している注入方式の接着系あと施工アンカー単体の性能の確認試験の整備状況、および平成20年度～平成22年度の建築基準整備促進事業での検討内容について概説し、本課題に至る経緯を述べた。

2.2 節では、平成27年度に実施した検討内容について報告した。接着系あと施工アンカー単体の性能および品質の確認方法の標準化のために、付着強度試験の標準化のための検討として、コンクリート母材強度、アンカー筋の径・種類、試験時の拘束条件、温度条件などを水準とした実験を実施し、試験方法標準化のための基礎的資料を整備したことや、クリープ特性に対する環境温度の影響を評価するため、温度条件の異なる長期引張試験（クリープ試験）の载荷を開始したことを述べた。

2.3 節では、平成28年度に実施した検討内容について報告した。長期引張試験として、クリープによる破壊限度を得るための短期クリープ試験、および温度条件、応力条件の異なるクリープ試験を実施したことや、平成27年度に载荷開始した長期引張試験（350日間のクリープ試験）の試験結果およびその評価について検討内容を述べた。

2.4 節では、平成29年度に実施された、2.5 節で提案されているクリープ試験方法の原案に応じたクリープ試験の実施、ばらつき等に関する検討について報告した。

2.5 節では、これまでの検討結果を踏まえ、アンカー単体の性能評価試験に必要となる評価試験方法として、付着強度試験、持続的载荷試験、引張強度試験、およびせん断強度試験の提案を行った。

参考文献

- 2.1) 東京ソイルリサーチ, 芝浦工業大学:平成 27 年度建築基準整備促進事業報告書「あと施工アンカーを用いた部材の構造性能確認方法に関する検討」, 2016.3
- 2.2) 久保田龍太, 濱崎仁, 高橋宗臣, 土屋直子:環境温度が接着系あと施工アンカーの付着強度および剛性に及ぼす影響, 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論文集, pp.183-190, 2016.6
- 2.3) 濱崎仁:制度的・技術的課題からみた建築ストック活用促進のための研究, 平成 25 年度独立行政法人建築研究所講演会テキスト, pp.9-24, 2014.3
- 2.4) 国土交通省:あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針, 2006.7
- 2.5) 日本建築学会:各種合成構造設計指針・同解説, 2010.11
- 2.6) 内田祐介ほか:接着系アンカーの引き抜き強度に関するばらつきの検証 その1 実験結果およびその2 ばらつきの検証結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2, pp.247-250, 2015.9
- 2.7) American Concrete Institute: Qualification of Post-Installed Adhesive Anchors in Concrete (ACI 355.4-11), 2011.8
- 2.8) European Organisation for Technical Approvals: ETAG 001 GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL OF METAL ANCHORS FOR USE IN CONCRETE Part five: BONDED ANCHORS Part five: BONDED ANCHORS, 3rd Amended, 2013.4
- 2.9) 中野克彦ほか:あと施工アンカーの長期許容応力度に関する研究 その3 引張クリープ実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2, pp.639-640, 2011.9
- 2.10)久保田龍太ほか:接着系あと施工アンカーのクリープ特性に及ぼす載荷荷重の影響, 日本コンクリート工学会年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1627-1632, 2015.7
- 2.11) 石村貞夫:統計解析のはなし, 東京図書, pp.254-256, 1989.4
- 2.12)安藤重裕ほか:あと施工アンカーの引張クリープ試験方法の基礎的評価, 日本建築学会技術報告集, 第47号, p.7-10, 2015.2
- 2.13) Fisher, J.W. et al.: Shear Strength of Stud Connectors in Light-Weight and Normal-Weight Concrete, A.I.S.C., Eng. J., 1971.4
- 2.14) 秋山友昭, 細川洋治, 加藤政文, 宇佐美滋, 大芳賀義喜, 木崎襲一:あと施工アンカーの試験方法標準化に関する研究 その1 標準試験法概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1999.9, pp.549~550,
- 2.15) 丹羽亮, 細川洋治, 宇佐美滋, 中野克彦, 大森正秀, 今井清史:あと施工アンカーの試験方法標準化に関する研究 その2 標準せん断試験法・確認試験概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1999.9, pp.551~552
- 2.16)加藤政文, 細川洋治, 宇佐美滋, 中野克彦, 大森正秀, 今井清史:あと施工アンカーの試験方法標準化に関する研究 その3 標準せん断試験法・確認試験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1999.9, pp.553~554
- 2.17) 安藤重裕:無機系注入式あと施工アンカー材の接着特性に関する実験的研究, 千葉工業大学学位請求論文, 2017.3
- 2.18) 久保田龍太, 濱崎仁, 安藤重裕, 高橋宗臣:接着系あと施工アンカーのクリープ特性に及ぼす載荷荷重の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1627-1632, 2015.7

