

論文 接着系あと施工アンカーの耐久性に関する実験的検討(静的引抜き試験)

勝山 なつ季*1・井口 重信*2・門 真太郎*3・田附 伸一*4

要旨: 接着系あと施工アンカーの耐久性の評価方法に関する知見は少なく、その試験方法も明確には定められていない。本稿では、接着系あと施工アンカーの耐久性を評価する上で基準となる静的引抜き試験を行い、使用する材料や試験方法の差異が結果に与える影響を実験的に検討した。その結果、試験体の形状や載荷方法の違いにより、破壊形態や静的引抜き耐力などに影響があることが分かった。

キーワード: あと施工アンカー, 接着系, 静的引抜き試験, 載荷方法

はじめに

接着系あと施工アンカーの使用に際しては、耐久性の照査が重要であるが、耐アルカリ性や長期持続荷重や疲労荷重に関する抵抗性についての知見は少ない。欧米では、ETAG¹⁾²⁾やACI³⁾等で耐久性の評価方法が基準化されており、試験体形状についての仕様等は記載があるものの、試験方法や試験結果の詳細は公開されていない。そこで、著者らは接着系あと施工アンカーの耐久性評価方法を検証するため、耐アルカリ性試験、耐疲労性試験およびその基本となる静的引抜き試験を実施している。ETAGにおける耐アルカリ性試験では、アンカーの押し抜き試験が行われているが、実環境では引抜き力を受けることがほとんどであることから、その試験方法の違いによる付着応力の影響を検証することが必要である。また、耐疲労性試験では、静的引抜き試験から得られた最大荷重によって繰り返し荷重を決定するため、静的引抜き試験の結果が重要となる。国内の研究においても、接着系あと施工アンカーの付着性能を確認するため静的引抜き試験を行っているものの、その試験方法や試験条件は様々であり、正確な方法は確立されていない。⁴⁾⁵⁾

本稿では、ETAGの試験条件を参考とした静的引抜き試験において、使用する材料や施工方法、打設したアンカー筋の打設角度の誤差、試験体の寸法および載荷方法によって生じる結果との差異について検討したので、以下に述べる。なお、耐アルカリ性試験および耐疲労性試験については別稿にて記載する。

2. 試験概要

2.1 試験体

試験体形状を図-1に示す。試験体は直径300mm~700mmの紙製ボイド管にコンクリートを打ち込み、その

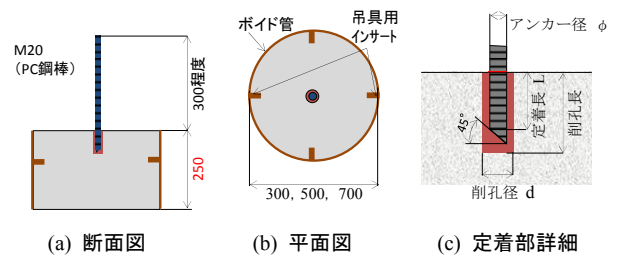


図-1 試験体形状

表-1 アンカー筋諸元

アンカー径	鋼材種	降伏/引張強度の規格値(N/mm ²)
M12	SNB7	725/860以上
D13 (M12)	SD490	490/620以上
	SD345	345/490以上

表-2 アンカー種別と充填方法

記号	材料	充填方法
A	有機(エポキシアクリレート)	カプセル型
B	有機(ビニルエステル)	カプセル型
C	有機(エポキシ)	注入型
D	有機(アクリル)	注入型
E	無機(セメント)	カプセル型

表-3 接着系アンカーの特性値

記号	圧縮強度(N/mm ²)	引張強度(N/mm ²)	曲げ強度(N/mm ²)	圧縮弾性係数
A	138.5	78.9	130.2	2820
B	98.0	19.6	29.4	980
C	109.0	75.7	118	2730
D	124.0	25.0	49.0	6000
E	29.4	18.5	4.9	—

中央部にあと施工アンカーを固着させる方法で製作した。そのため試験体内部は無筋である。コンクリートの硬化後、あと施工アンカーを固着させるための孔を、孔径15mmのハンマードリルで下向きに穿孔し、あと施工ア

*1 東日本旅客鉄道株式会社 東北工事事務所 (正会員)

*2 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター (正会員)

*3 東日本旅客鉄道株式会社 東北工事事務所 (正会員)

*4 東日本旅客鉄道株式会社 東北工事事務所 工博 (正会員)

ンカーを設置した。アンカー筋の端部は45度の切断加工とし、設計定着長は、最大荷重がアンカー筋の破断荷重とならないように配慮して5φ(φ:アンカー筋径)とした。アンカー筋の諸元を表-1に示す。アンカー筋は、径をM12とし、強度をパラメータに3種類用いた。アンカー規格のSD490, SD345のものについては、カブラー部のみ異形鉄筋にM12のネジ加工を施したものとした。アンカー筋を固着する接着剤の諸元を表-2に、それぞれの特性値を表-3に示す。接着剤は、材料では有機系の4種類と無機系の1種類、充填方法ではカプセル方式および注入方式の2種類から選定した。載荷試験当日のコンクリート圧縮強度は23.7~38.6N/mm²、割裂強度は1.7~6.0N/mm²であった。

2.2 試験方法

載荷方法を図-2に示す。載荷は鋼材引張試験用万能試験機を用いて行い、試験機下側の載荷梁を固定し、上側の載荷梁を引き上げることで、引抜き試験を行った。試験体には、孔径が異なる厚さ30mmの支圧板を載せ、アンカー周辺の支圧の影響を変えた。使用した載荷板の孔径はそれぞれ、1.5d, 5d, 10d, 15d(d:削孔径)である。ETAGの試験方法では、1.5d~2.0dの孔径の支圧板を採用しており、接着剤の付着性能のみに着目した試験を意図しているものと考えられる。今回は、アンカーを使用する実際の環境に近づける目的で、支圧板の孔径を広げ、その影響の有無を検証することとした。また、アンカー筋の根元に設置したワイヤー式変位計2台の変位の平均値を取って、アンカー筋の抜きし量を計測した。

試験パラメータと試験体数を表-4に示す。

3. 試験結果

3.1 損傷状況の分類

載荷後における試験体の損傷状況の例を図-3に示す。損傷状況を分類すると、アンカー筋および接着剤のみが引き抜ける付着破壊タイプ(a)、アンカー筋近傍のコンクリートがコーン状に引き抜けるコーン破壊タイプ(b)、試験体上面にアンカー筋から放射状にひび割れが伸びる割裂破壊タイプ(c)に大別された。コーン破壊タイプ(b)では、アンカー筋端部のほうが付着破壊となっているが、(b-1)のようにコンクリートがコーン状に拔出しているため、コーン破壊タイプとした。付着破壊タイプ(a)はさらに、接着剤とコンクリートの界面で引き抜ける接着破壊(a-1)、接着剤とアンカー筋のねじ山付近で引き抜ける凝集破壊(a-2)、およびそれらの両者が見られる接着・凝集破壊(a-3)に分けられたが、本稿では付着破壊として分類した。

試験体の載荷後における損傷状況を(a)から(c)で分類すると表-5のようになった。アンカーが拔出す前に破断してしまったものは、アンカー破断と表記している。

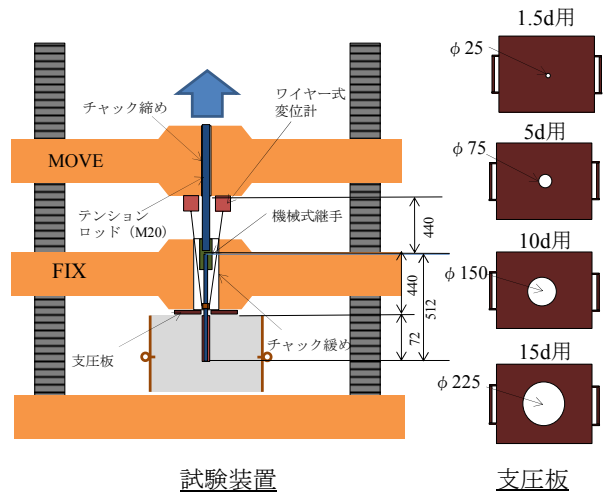


図-2 載荷方法

表-4 試験パラメータと試験体数

試験体 No	孔径 (mm)	試験体径 (mm)	アンカー規格	試験体数				
				A	B	C	D	E
S-1	1.5d	300	SNB7	4	5	4	6	4
S-3	1.5d	500	SNB7	-	3	-	3	-
S-4	15d	700	SNB7	-	3	-	3	-
S-5a	1.5d	300	SD345	-	2	-	2	-
S-5b	15d			-	1	-	1	-
S-6a	1.5d	300	SD490	-	2	-	2	-
S-6b	15d			-	1	-	1	-
S-7	5d	300	SNB7	-	3	-	3	-
S-8	10d	300	SNB7	-	3	-	3	-
S-9	15d	300	SNB7	-	3	-	3	-



(a)付着破壊 (b)コーン破壊 (c)割裂破壊



(a-1) 接着破壊



(a-2) 凝集破壊



(a-3) 接着・凝集破壊



(b-1) コーン破壊

図-3 損傷状況の例

表-5 損傷状況の分類

試験体 No.	支圧板の孔径 (mm)	コンクリート強度(N/mm ²)	アンカー種別				
			A	B	C	D	E
S-1	25(1.5d)	28.9	付着				
S-3	25(1.5d)	23.7	-	付着	-	付着	-
S-4	225(15d)	25.7		コーン		コーン	
S-5	a 25(1.5d)	38.6		アンカー破断		アンカー破断、 付着	
	b 225(15d)			割裂		コーン	
S-6	a 25(1.5d)	38.6		アンカー破断		付着	
	b 225(15d)			割裂		割裂	
S-7	75(5d)	28.6		コーン		コーン	
S-8	150(10d)	28.9		コーン		コーン	
S-9	225(15d)	28.9		割裂		割裂	

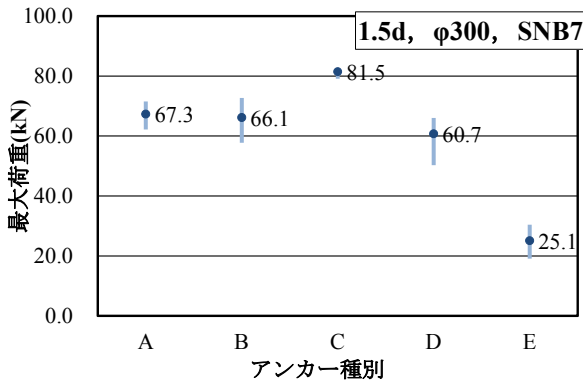


図-4 材料・充填方法の影響(最大荷重)

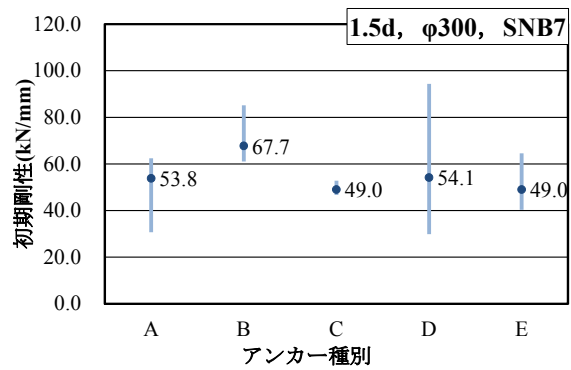


図-5 材料・充填方法の影響(初期剛性)

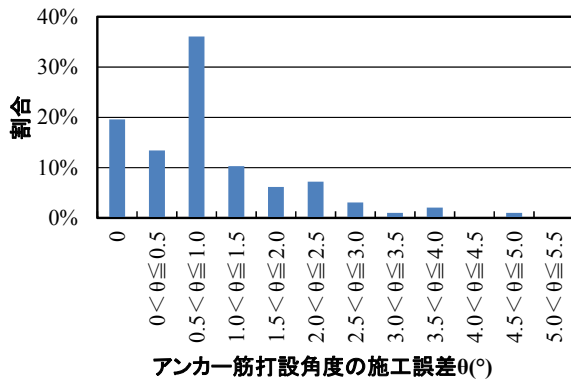


図-6 打設角度の施工誤差

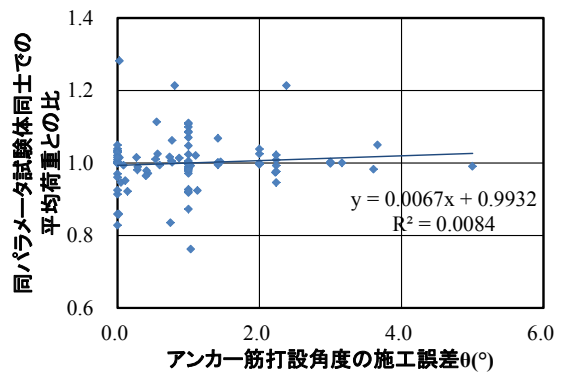


図-7 打設角度の施工誤差と最大荷重

試験体 S-5a の場合を除き、複数ある同パラメータの試験体は同じ破壊形態となった。試験体寸法であれば支圧板の孔径が小さいものは付着破壊、大きくなるにつれてコーン破壊、さらに大きくなると割裂破壊になる傾向が見られた。また、支圧板の径が同じであれば、試験体径が大きいほど割裂破壊になりにくいことが分かった。

3.2 材料・充填方式の影響

試験条件が同一で材料・充填方法のみ異なる S-1 試験体の最大荷重を図-4 に初期剛性を図-5 に示す。試験結果の最大値と最小値の範囲およびその平均値を数字で示している。なお、荷重と拔出し量関係において、原点と最大荷重の 1/3 となる点の割線剛性を取ることで算出

した。最大荷重については、無機系材料である E 以外は 60kN 以上の最大荷重を示した。また、B, D についてはばらつきが多いのに対し、C についてはばらつきが小さかった。初期剛性については、有機系、無機系の差は少なかった。D についてはばらつきが大きく、C についてはばらつきが小さかった。

3.3 アンカー筋打設角度の影響

全試験体におけるアンカー筋の打設角度の施工誤差の割合を図-6 に示す。アンカー筋は、試験体上面に対して垂直に施工をしたが、穿孔作業あるいはアンカー筋の打設作業の施工誤差によって傾くものがあった。最多は $0.5^\circ < \theta \leq 1.0^\circ$ の範囲で、最も大きいものは 5.0° で

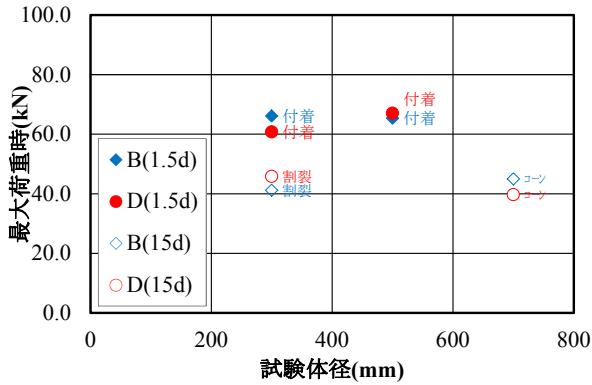


図-8 試験体径の影響(最大荷重)

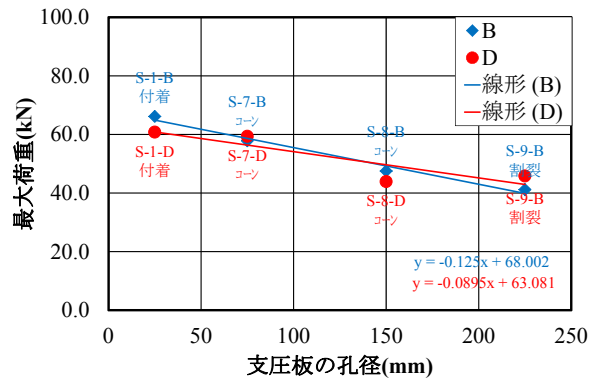
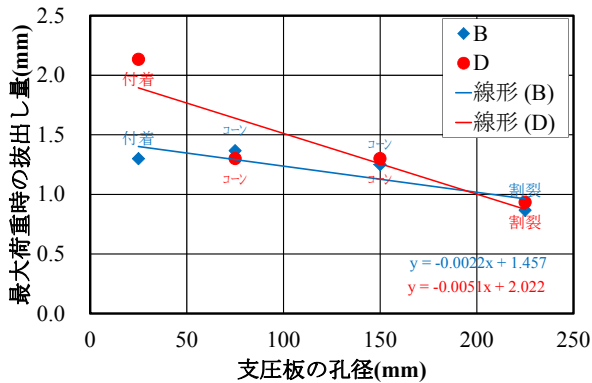


図-9 支圧板の孔径の影響(最大荷重)



あった。アンカー筋打設角度の施工誤差と最大荷重の関係を図-7 に示す。試験体ごとにアンカー筋の諸元や支圧板の孔径等が異なるため、最大荷重を同一パラメータ同士の平均荷重で除したもので比較した。近似直線の傾きは非常に小さく、今回の試験範囲内においては、打設角度が最大荷重に与える影響は小さかった。

3.4 試験体寸法の影響

試験体径と最大荷重の関係を図-8 に示す。これ以降の試験は代表してアンカーB と D で検討を行う。今回の試験範囲では、試験体径が最大荷重に与える影響は小さかった。ただし、支圧板の孔径が 15d のものについては、試験体径 300mm のものが割裂破壊で、700mm のものがコーン破壊となっており破壊形態が異なる結果となった。

3.5 支圧板の孔径の影響

支圧板の孔径のみをパラメータとした試験体 S-1, S-7, S-8, S-9 について、それぞれの最大荷重および最大荷重時の拔出し量の平均値と孔径との関係を図-9, 図-10 に示す。図には、直線近似した場合の近似式も示す。材料・充填方法の種別によらず、孔径が大きくなるほど最大荷重および最大荷重時の拔出し量ともに低下する結果となった。破壊形態も、孔径が大きくなるにつれて、付着破壊からコーン破壊、割裂破壊となった。最大荷重については支圧板の孔径の影響を受けるものと考えられる。

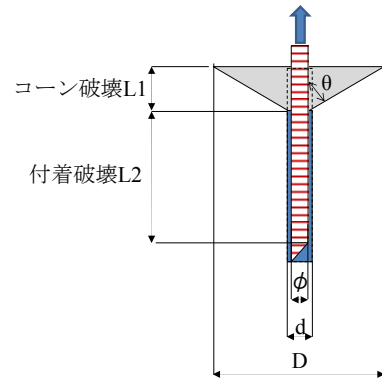


図-11 コーン破壊試験体の破損状況

4. 考察

4.1 付着応力およびコーン破壊応力の算出

支圧板の孔径の影響によって最大荷重が異なることについて、以下で考察する。

付着破壊したものは、鋼材の付着力によって最大荷重を求めることができると考えられる。また、コーン破壊をする試験体はコーン破壊部分と付着破壊部分に分けて図-11 のように想定⁽⁶⁾⁽⁷⁾ し、コーン破壊部分はコンクリートの引張抵抗力、付着破壊部分は鋼材の付着力で抵抗すると考えられることから、最大荷重はそれらの足し合わせにより、式(1)で求まるものと仮定する。⁽⁶⁾⁽⁷⁾

$$\bar{P} = A_1 \cdot \tau_1 + A_2 \cdot \tau_2 \quad (1)$$

ここに、

\bar{P} : 引抜き荷重の平均値(N)

$A_1 = \pi \cdot L_1 (D - d^2/D)/2$: コーン破壊部分の側面積(mm²)

L_1 : コーン破壊部分の長さ(mm)

D : コーン破壊の直径(mm)

d : 削孔径(mm)

$A_2 = \pi \cdot d \cdot L_2$: 付着破壊部分の周面積(mm²)

L_2 : 付着破壊部分の長さ(mm)

τ_1 : コーン破壊部分の側面に作用するせん断応力の垂直成分 (以下、コーン破壊応力) (N/mm²)

τ_2 : 付着破壊部分の周面に作用するせん断応力 (以下、付着破壊応力) (N/mm²)

表-6 コーン破壊・付着破壊形状とコーン破壊応力 τ_1 ・付着破壊応力 τ_2

試験体	破壊形状	拘束径 (mm)		実験値					算出値	
				引抜荷重 \bar{P} (kN)	コーン破壊長さ L_1 (mm)	コーン破壊直径 D (mm)	コーン破壊角度 θ (deg.)	接着破壊長さ L_2 (mm)	コーン破壊応力 τ_1 (N/mm ²)	付着応力 τ_2 (N/mm ²)
S-1	B 付着	1.5d	25	66.1	—	—	—	66.0	—	20.4
	D 付着	1.5d	25	60.8	—	—	—	66.0	—	17.1
S-3	B 付着	1.5d	25	65.4	—	—	—	66.0	—	19.7
	D 付着	1.5d	25	67.1	—	—	—	66.0	—	19.2
S-7	B コーン	5d	75	57.8	33.1	72.8	41.0	32.9	8.4	17.2
	D コーン	5d	75	59.4	28.3	75.0	46.1	37.7	7.3	17.8
S-8	B コーン	10d	150	47.5	47.1	148.0	54.6	18.9	2.0	25.0
	D コーン	10d	150	43.9	32.8	142.7	62.5	33.2	4.5	5.6
S-4	B コーン	15d	225	45.0	57.0	192.2	57.4	9.0	2.1	11.7
	D コーン	15d	225	39.7	48.7	217.3	64.4	17.3	1.1	19.3

コーン破壊応力 τ_1 および付着破壊応力 τ_2 は、実験値より求めた平均引抜き荷重 \bar{P} と、コーン破壊の長さ L_1 および直径 D の実測値、付着破壊部分の長さ L_2 の実測値より求めた A_1 、 A_2 から算出した。付着破壊した場合の付着応力は平均値より求め、コーン破壊した場合のコーン破壊応力 τ_1 、付着応力 τ_2 については、同条件の試験体における試験結果をもとに、回帰分析によって求めた。表-6に各試験体のコーン破壊の長さ L_1 および直径 D の実測値、付着破壊部分の長さ L_2 の実測値とコーン破壊応力 τ_1 および付着破壊応力 τ_2 の算出結果を示す。

表-6に示した各試験体のコーン破壊角度とコーン破壊応力の関係を図-12に示す。コーン破壊応力 τ_1 は、コーン破壊角度 θ に依存し、コーン破壊角度 θ が大きくなるほど小さい値となった。コーン破壊応力 τ_1 は、接着剤の諸元には依存しないと考えられるため、図-12のように試験体B、Dに対して線形近似するようにした。

一方、付着破壊応力 τ_2 は、バラツキが大きいものの支圧板の孔径の影響は少ないものと思われる(図-13)。以上より、コーン破壊応力 τ_1 はコーン破壊角度 θ の線形近似、付着破壊応力 τ_2 は試験結果の平均値とすることで、おおよその値を推定することができる。と考える。

4.2 最大荷重の推定

支圧板の孔径の大きさによる最大荷重の算出を行う。コーン破壊応力 τ_1 と付着破壊応力 τ_2 は上記の通り求めることができるが、引抜き荷重の最大値を推定するには、コーン破壊部分の長さ L_1 と付着破壊部分の長さ L_2 が決まらなければ算出できない。そこで、コーン破壊部分の長さ L_1 を漸増させ、式(1)により求まる引抜き荷重の最大値が最も小さくなった時が破壊時の最大荷重と考えると、表-7のように最大荷重の計算値 P_{cal} およびコーン破壊角度の計算値 θ_{cal} を求めることができる。図-14に最大

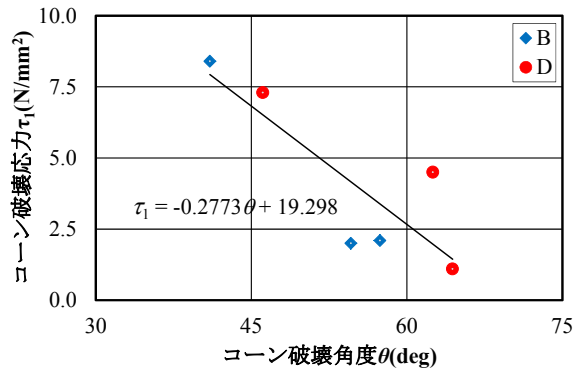


図-12 コーン破壊角度 θ とコーン破壊応力 τ_1 の関係

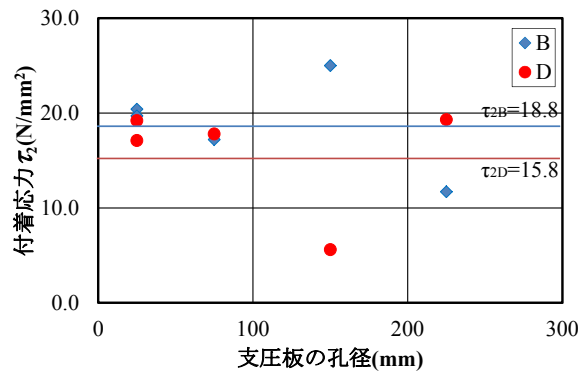


図-13 支圧板の孔径と付着応力 τ_2 の関係

荷重の実験値 P_{exp} と計算値 P_{cal} の比較を示す。最大荷重については計算値が実験値を下回ったものの、線形を有する傾向を示している。引き続き実験結果と推定方法を検討する必要があるが、静的荷重を算出することが可能と考えられる。

5. まとめ

接着系あと施工アンカーの耐久性検証方法の確立を目的に、材料や充填方法、アンカー筋種別、試験体径、拘

表-7 コーン破壊角度および最大荷重の算出

削孔径 D (mm)	アンカ 一長 L (mm)	コーン 破壊 長さ L ₁ (mm)	コーン 破壊径 φ (mm)	コーン 破壊 角度 θ _{cal} (deg)	コーン破壊 部分面積 A ₁ (mm ²)	付着破壊 長さ L ₂ (mm)	付着破壊 部面積 A ₂ (mm ²)	コーン 破壊応力 τ ₁ (N/mm ²)	付着応力 τ ₂ (N/mm ²)	引抜き 荷重 P _{cal} (kN)
15	60	10	75	75	1131	50	2356	-1.50	15.8	35.54
15	60	11	75	74	1244	49	2309	-1.10	15.8	35.11
15	60	12	75	72	1357	48	2262	-0.72	15.8	34.77
15	60	13	75	71	1470	47	2215	-0.34	15.8	34.50
15	60	14	75	70	1583	46	2168	0.04	15.8	34.31
15	60	15	75	68	1696	45	2121	0.41	15.8	34.20
15	60	16	75	67	1810	44	2073	0.77	15.8	34.15
15	60	17	75	66	1923	43	2026	1.12	15.8	34.18
15	60	18	75	64	2036	42	1979	1.47	15.8	34.27
15	60	19	75	63	2149	41	1932	1.81	15.8	34.42
15	60	20	75	62	2262	40	1885	2.14	15.8	34.63

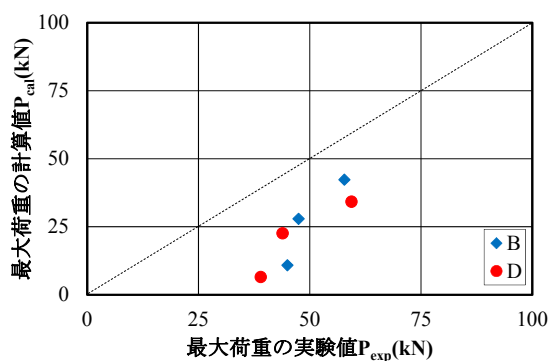


図-14 最大荷重の実験値と計算値

束板の孔径等を変えて、静的引抜き試験を行った。得られた知見を以下に記す。

- (1) 静的引抜き試験の損傷形態を分類すると、付着破壊、コーン破壊、割裂破壊に大別できた。試験体径が小さいと割裂破壊になりやすく、支圧板の孔径が大きいほどコーン破壊となりやすい。
- (2) 材料および充填方法の差異では、有機系は無機系よりも最大荷重は大きいですが、初期剛性については同程度であった。また、材料や充填方法ごとにバラツキの程度に差異があった。
- (3) アンカーの打設角度は、下向き削孔および打設で行ったが、最大で5°の傾斜があったが、最大荷重への影響は小さかった。
- (4) 試験体径が最大荷重へ与える影響は小さい。
- (5) 支圧板の孔径が小さいほど最大荷重は大きくなる。
- (6) 支圧板の孔径が異なる場合の最大荷重は、付着応力および、コーン破壊応力とコーン破壊角度との関係により、最大荷重が最も小さくなる箇所を求めると耐力の算出が可能と考えられる。

謝辞：本試験は日本建築あと施工アンカー協会（JCAA）との共同研究により実施したものであり、あと施工アンカーの施工にあたっては多大なるご協力を頂いた。記して謝辞としたい。

参考文献

- 1) EOTA : GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL OF METAL ANCHORS FOR USE IN CONCRETE BONDED ANCHORS, ETAG001 Part five, Apr.2013
- 2) EOTA : GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL OF METAL ANCHORS FOR USE IN CONCRETE DETAILS OF TESTS, ETAG001 Annex A, Apr.2013
- 3) American Concrete Institute: Qualification of Post-Installed Adhesive Anchors in Concrete and Commentary, 355.4-11, 2011
- 4) 中野克彦, 松崎育弘, 杉田智昭: 接着系あと施工アンカーの基本平均付着強度に関する実験的研究, 2009年度日本建築学会大会(東北) 学術講演梗概集 C2分冊, pp149-150, 2009.7
- 5) 吉岡夏樹, 峯山友紀, 中本啓介, 三輪浩二: アクリル樹脂を用いた接着系あと施工アンカーボルトの性能確認試験, 駒井ハルテック技報, Vol.3, pp39-42, 2014.3
- 6) 北後征雄, 古谷時春: あと施工アンカー工法の設計施工, 構造物設計資料, No.82, pp3-7, 1985.6
- 7) 村松和仁, 宗栄一: エポキシ樹脂アンカーの引張強さに関する実験的研究, 第6回コンクリート工学年次講演会論文集, Vol.6, pp389-392, 1984.5