

論文 拡径を有するコア抜き孔にグラウトで定着された頭付きアンカーの引抜き性能

ウサレム ハッサン*1・宇佐美 徹*2・北嶋 裕*3・吉川 将平*4

要旨：コンクリートに拡径削孔したコア抜き孔内にグラウトを用いて定着した頭付きアンカー（拡径コア抜き工法）の定着耐力評価法と得るために引抜き試験を実施した。実験変数は、拡径の有無、頭付きアンカーの有効定着長さおよびアンカーヘッド形状とし、拡径を有するコア抜き孔内に定着された頭付きアンカーの引抜き挙動と破壊モードを明らかにした。拡径形状は円錐形であり、最大拡径部までの長さを一定とした状態で、アンカーの有効定着長さとしてアンカーヘッド形状の影響を検討した。その結果、本工法は従来の定着工法と同等以上の性能を有することを確認した。

キーワード：拡径削孔、円錐拡幅形状、あと施工アンカー、引抜き試験、耐力評価

1. はじめに

コンクリート構造躯体へ埋め込まれ、引張力を受けた頭付きアンカーに想定される破壊モードには、コンクリートのコーン破壊、アンカーの降伏またはアンカーヘッドによる支圧破壊などが考えられる。一般にアンカーの有効定着長さが長いほど引抜き強度（耐力）も大きくなる。一方、耐震補強に利用されているあと施工アンカーは、既存躯体に削孔された孔内に定着されると、様々な理由（例えば、埋め込み深さの不足、施工空間がないため大径の孔が削孔できない、既存躯体の強度不足や損傷、孔の内面の付着状態など）のため、引抜き強度が不足する可能性がある。特に、埋め込み深さ不足は大きな問題で、短い定着長さでも高い耐力が得られる工法が望まれる。寺戸ら¹⁾は、コア抜き孔内溝切装置で、孔の内面に凹凸（円形の溝）を設け、エポキシ樹脂系接着剤を用いて、アンカー（異形鉄筋）を定着させた。その工法によるアンカーは、良好な引抜き試験結果を示したが、水を利用した削孔方法であったため、削孔長が長くなった場合の品質確保に問題を残している。そこで今回短い定着長さで良好な品質を確保でき、十分な引抜き耐力が得られ

る工法として、無水削孔で孔内に拡径部を設ける工法（拡径コア抜き工法）を提案する。本工法は、耐震補強で既存躯体に補強部材を接合する際のアンカーや、レンガ造建物の補強における鉄筋・プレストレス鋼棒・プレストレス鋼より線の端部を定着することなど、新築、既存のあらゆる建物でのアンカーに利用可能としている。

本稿では、拡径コア抜き工法を用いた場合の定着耐力評価法を得るために実施したアンカーの引抜き性能確認実験について報告する。

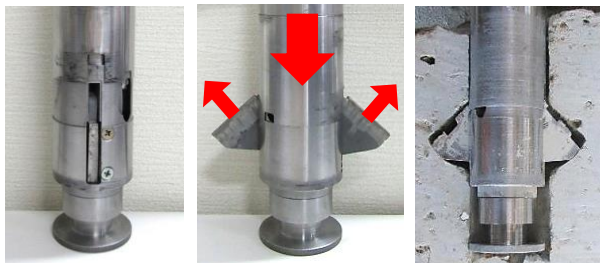
2. 拡径治具および工法手順

2.1 拡幅削孔の治具および孔内の拡径形状

拡径削孔の治具は、コア抜き用のコアマシンの筒先端にビット（コアドリル）の代わりに拡径用治具を取付けたものである。拡径用治具は、図-1に示すように、治具の埋め込み先端を押すことで、②のように翼（ウイング）形状の拡径用の刃が出現し、③のように円錐形の拡径コア抜き孔を形成する。円錐形とするのは、グラウト材の注入に支障の無いようにするためである。

2.2 拡径削孔の施工手順

本工法の手順を、図-2に示す。①孔位置の墨だしを行い、先端に通常のコアビットを取付けたコア抜き機で定位置まで削孔し、同一径のコア孔を形成する。②コア抜き筒を一度引き上げ、③通常コアビットの代わりに筒先端に拡径用治具を装着し、再度削孔底までに挿入する。④コア抜き鋼管上部を押すことで拡幅用のダイヤモンドカッターの刃が出現し、削孔先端部の削孔径を拡幅する。⑤孔内を清掃し、内部を確認し、アンカーを挿入する。⑥グラウト材を注入し、最後は、⑦グラウトが硬化する



①刃先を閉じた状態 ②刃先を出した状態 ③拡幅形状
図-1 円錐形拡幅削孔の治具および拡幅形状の概要

*1 竹中工務店 技術研究所 構造部 博士(工学) (正会員)

*2 竹中工務店 技術研究所 構造部 博士(工学)

*3 竹中工務店 東京本店 FM 部

*4 竹中工務店 東京本店 FM 部

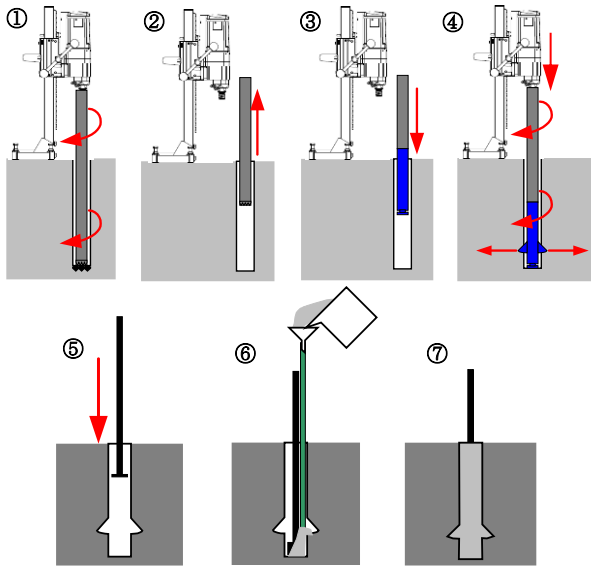


図-2 孔内の拡幅および全施工手順の概要

まで養生する。

3. 想定される破壊モードおよび耐力評価

拡径コア抜き孔にグラウトで定着した頭付きアンカーの想定破壊モードを図-3に示す。図-3-aには、比較のために同径コア抜き孔における付着破壊モードを示した。想定される破壊モードは、日本建築学会の各種合成構造設計指針・同解説²⁾および岡田らの文献³⁾に基づいて、以下のように評価した。

3.1 同径コアの場合の付着破壊モード

図-3-aは、コンクリートとグラウトの界面②で付着が切れてアンカーが抜け出す破壊モードである。45°で想定する傾斜界面①での引張応力を無視すると、アンカーの引抜き耐力 P_{a1} は、以下の式(1)、式(2)で計算される値のうち小なる値となる。

$$P_{a1} = \varphi_1 \sigma_y a_s \quad (1)$$

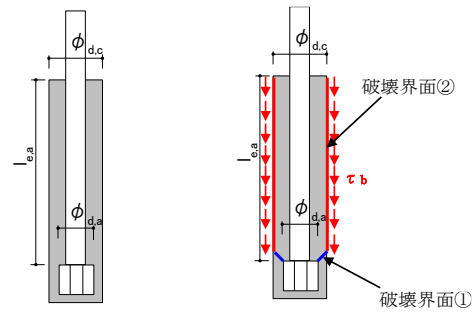
$$P_{a3} = \varphi_3 \tau_b \pi \phi_{d,c} (l_{e,a} - (\phi_{d,c} - \phi_{d,a})/2) \quad (2)$$

$$\tau_b = 7\sqrt{F_c/21} \quad [\text{Unit: N/mm}^2] \quad (3)$$

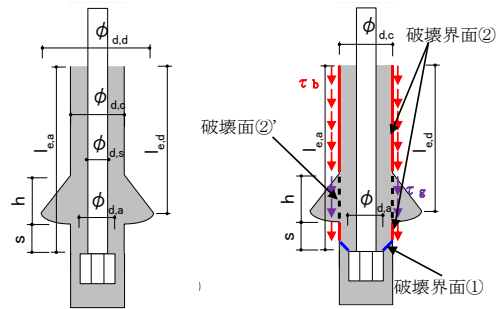
ここで、 P_{a1} : アンカーの引張降伏耐力、 P_{a3} : コンクリートとグラウトの界面における付着耐力、 φ_1 と φ_3 : 低減係数(短期荷重用の場合は、それぞれ1.0と2/3とする)、 σ_y : アンカーの降伏点強度、 a_s : アンカー断面積、 τ_b : コンクリートの平均付着強度、 F_c : コンクリート強度、 $l_{e,a}$: アンカーの有効定着長さ、 $\phi_{d,a}$: アンカーヘッドの径、 $\phi_{d,c}$: 同径コアの径、 $\phi_{d,s}$: アンカーの径である。

3.2 拡径コアの場合の付着・せん断破壊モード

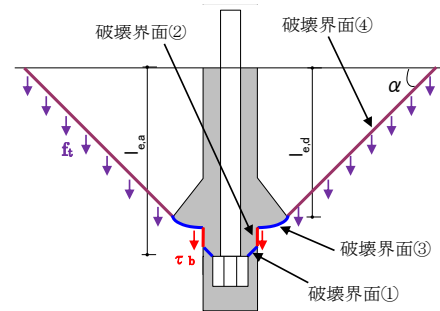
図-3-bはコンクリートとグラウトの界面②で付着が切れると同時に界面②'でのグラウト拡径部でせん断破壊が生じ、アンカーが抜け出す破壊モードである。45°で想定する傾斜界面①での引張応力を無視すると、アンカーの引抜き耐力 P_a は、式(1)と下式(4)で計算される値



a) 同径コアの場合付着破壊



b) 付着破壊と拡径部せん断破壊



c) 拡径部を基点とするコーン破壊
図-3 想定破壊モード

のうち小なる値となる。

$$P_{a3} = \varphi_3 \pi \phi_{d,c} \left[\tau_b \left(l_{e,a} - h - \frac{(\phi_{d,c} - \phi_{d,a})}{2} \right) + \tau_g h \right] \quad (4)$$

$$\tau_g = 0.2 F_{c,g} \quad (5)$$

ここで、 τ_g : グラウトの平均せん断強度(宮内らの文献⁴⁾に基づいて、コンクリートコッター形式の接合面の強度式と同一)、 $F_{c,g}$: グラウトの圧縮強度である。

3.3 拡径部を基点とするコーン破壊モード

図-3-cはコア抜き孔拡径部を基点とするコーン状破壊断面④が形成され、アンカーが抜け出す破壊モードである。45°で想定する傾斜界面①と拡径底の界面③では引張応力を無視し、界面②の付着応力 τ_b 、界面④の引張応力 f_t とすると、アンカーの引抜き耐力 P_a は、式(1)と下式(6)で計算される値のうち、小なる値となる。

$$P_{a2} = \varphi_2 f_t A_c + \varphi_3 \tau_b \pi \phi_{d,c} \left(s - \frac{\phi_{d,c} - \phi_{d,a}}{2} \right) \quad (6)$$

$$f_t = 0.31 \sqrt{F_c} \quad [\text{Unit: N/mm}^2] \quad (7)$$

$$A_c = \pi l_{e,a} (\phi_{d,a} + \phi_{d,c}) \quad (8)$$

ここで、 P_{a2} : コンクリートコーンの界面における引張耐

力とコンクリートとグラウトの界面における付着耐力を足し合わせた耐力、 φ_2 :低減係数(短期荷重用の場合は、2/3とする)、 A_c :コーン状破壊面の有効水平面積(式(8)では、 45° のコーン破壊面を仮定した)、 f_t :コンクリートの引張強度、 s :拡張部の最下部からアンカーヘッドの支圧面までの距離、 $l_{e,d}$:最大拡張部までの長さ(コンクリート上面から拡張部の最大径までの距離)、 $\phi_{d,d}$:拡張部の最大径である。

3.4 その他の破壊モードに関する確認事項

上記の 3.1~3.3 の破壊モード以外、ヘッド部支圧破壊および拡張部の上部の支圧破壊が考えられるが、下記事項の確認が行われれば、これらのモードは発生しない。

- (1) 頭付アンカーの引抜耐力時のヘッド部支圧応力度が、グラウトの支圧強度 $f_{n,g}$ 以下となることの確認

$$P_d/A_0 \leq f_{n,g} \quad (9)$$

$$A_0 = \pi(\phi_{d,a}^2 - \phi_{d,s}^2)/4 \quad (10)$$

$$f_{n,g} = F_{c,g}\sqrt{A_c/A_0} \quad (11)$$

ここで、 A_0 :アンカーヘッドの支圧面積、 $f_{n,g}$:グラウト支圧強度である($\sqrt{A_c/A_0}$ が6を超える場合は6とする)。支圧領域では圧縮強度が低い F_c の中に部分的に高強度の $F_{c,g}$ が存在した状態であるが、ここでは支圧面が高強度グラウトであるため、この材料が支圧領域全体に均一に広がっていると仮定した式とした。

- (2) 頭付アンカーの引抜耐力時の拡張上部の支圧応力度が、コンクリートの支圧強度 f_n 以下となることの確認

$$P_d/A_{0,d} \leq f_n \quad (12)$$

$$A_{0,d} = \pi \cdot (\phi_{d,d}^2 - \phi_{d,c}^2)/4 \quad (13)$$

$$f_n = F_c \cdot \sqrt{A_c/A_{0,d}} \quad (14)$$

ここで、 $A_{0,d}$:拡張部上部の有効水平支圧面積(図-4参照)、 f_n :コンクリートの支圧強度($\sqrt{A_c/A_{0,d}}$ が6を超える場合は6とする)である。

4. 実験概要と結果

4.1 試験体概要および使用材料

図-4 に試験体のコンクリートブロック形状およびコア位置を、図-5 に試験体のコア孔形状寸法を示す。

表-1 に試験体の変数を示す。試験体は、3つの Series で各3体、計9体制作した。いずれも定着部は鉄筋補強のない、無筋コンクリートである。

試験体のコンクリートブロックの寸法(L×B×H)を、Series-1は1300mm×400mm×500mm、Series-2とSeries-3では、1600mm×1000mm×600mmとした(図-4)。

いずれの試験体もコア抜き孔の径は54mm、拡張部の最大径および鉛直長さは、108mmと42mmである。また、拡張部の最大径までの長さを、139.5mm(108mm+31.5mm)とした。なお、本試験では、アンカー径はパラメーター

としていない。

Series-1では、拡張の有無および頭付きアンカーの有効定着長さの影響を検討した。試験体 S1-S-d150(拡張なし)および S1-C-d150(拡張あり)では、アンカーヘッドの形状とアンカーの有効定着長さを、同一とし、拡張の有無の効果を調べた。拡張有りの試験体 S1-C-d150(アンカー有効定着長さ150mm)と S1-C-d180(アンカー有効定着長さ180mm)では、同一アンカーヘッド形状を用い、アンカーの有効定着長さの効果を調べた。

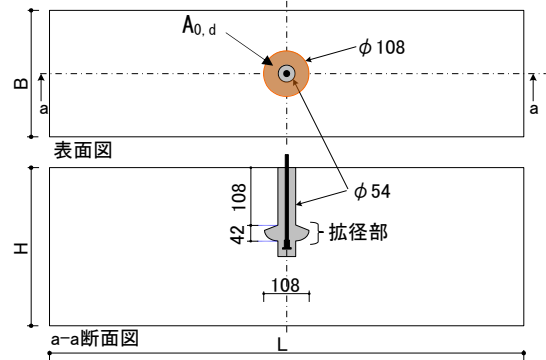


図-4 試験体のコンクリートブロックおよびコア位置

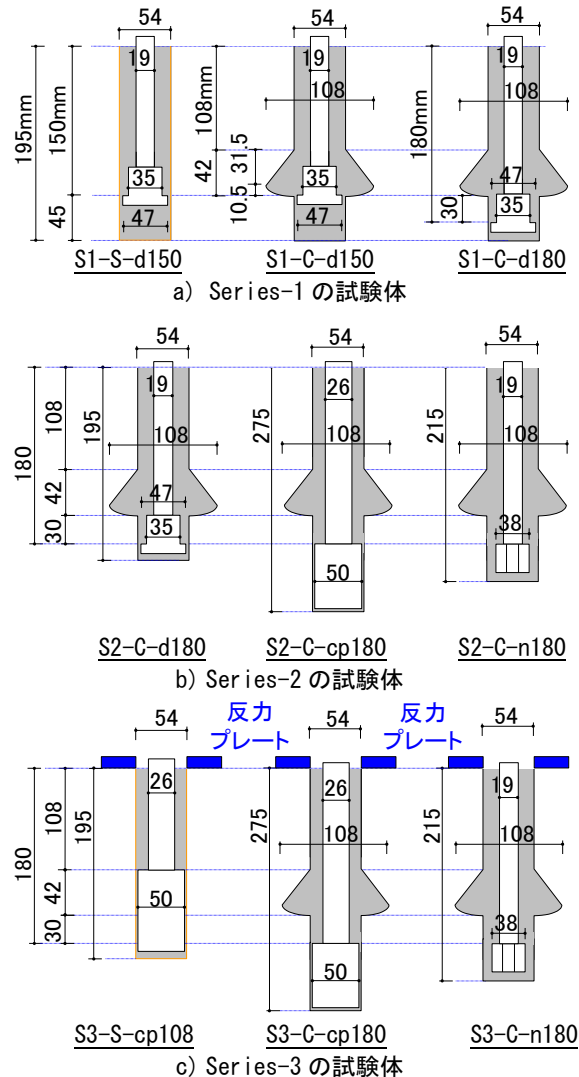


図-5 試験体の概要(孔内形状と寸法)

表-1 試験体の変数

試験体名	拡福形		ヘッド形			ヘッド有効長さ (mm)		
	S	C	d	cp	n	150	180	108
Series-1	S1-S-d150	○		○		○		
	S1-C-d150		○	○		○		
	S1-C-d180		○	○			○	
Series-2	S2-C-d180		○	○			○	
	S2-C-cp180		○		○		○	
	S2-C-n180		○		○		○	
Series-3	S3-S-cp108	○			○			○
	S3-C-cp180		○		○		○	
	S3-C-n180		○		○		○	

備考：S1,S2,S3=試験のシリーズ，S=拡径なし（同径コア），C=円錐形状，d=定着板形，cp=カプラー形，n=ナット形

Series-2では、アンカーの有効定着長さは、同一とし、アンカーヘッド形状の違いについて検討した。図-6にアンカーヘッドの詳細を示す。

Series-3では、グラウトとコンクリート界面の付着、拡径部グラウトのせん断耐力およびアンカーヘッドによる支圧を検討した。S3-S-cp108試験体は、グラウトとコンクリートの付着破壊を、S3-C-cp180試験体およびS3-C-n180試験体は、グラウトとコンクリートの界面での付着破壊とグラウト拡径部のせん断破壊が同時発生する破壊を想定した。

試験体のコンクリート強度の目標は、20~25N/mm²とした。表-2にコンクリートおよびグラウトの材料試験結果を示す。アンカーには、C種φ19およびφ26のPC鋼棒（耐力：1080N/mm²以上、引張強度：1230N/mm²以上）を使用した。アンカーヘッドの鋼材は、すべてS45C材を使用した。

4.2 加力方法および測定項目

Series-1とSeries-2では、図-7-aに示すように、試験体の上に加力フレームとジャッキを載せ、コンクリートに埋め込んだPC鋼棒に単調増加で引張力を破壊まで作用させた。PC鋼棒中心から加力フレーム支持点までの最短距離を425mmとした。Series-3では、図-7-bに示すように、試験体のコアの上にφ54mm孔付き反力プレートにラムチェアとジャッキを載せ、埋め込んだPC鋼棒に単調増加で引張力を作用させた。PC鋼棒に作用する荷重をロードセルで、試験体のコンクリート面とコンクリート面から100mmの高さ位置のPC鋼棒との相対変位（PC鋼棒の伸びを含む）を変位計で測定した。

4.3 実験結果

試験体の荷重-変位関係曲線を図-8に示す。また、試験体の最大耐力値の一覧を表-3に示す。

Series-1とSeries-2の拡径部あり試験体は、すべて拡径部を基点とするコーン破壊を確認し、コーン破壊の発生後、耐力は急激に低下した。コーン状破壊面の傾きα

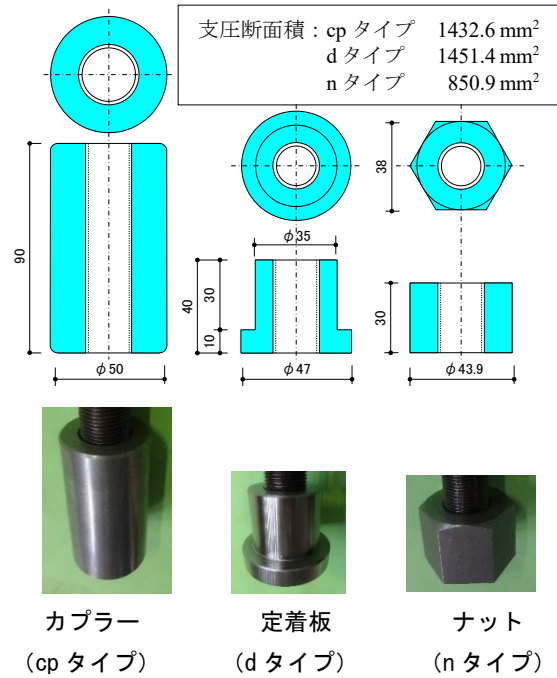
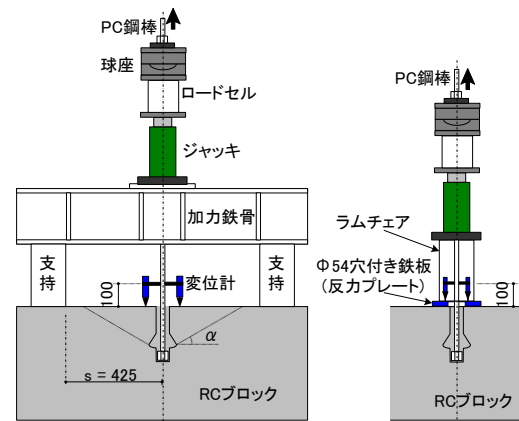


図-6 アンカーヘッドの形状詳細

表-2 コンクリートとグラウトの材料試験結果

材料	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)
S1 コンクリート	24.7	28,160	2.24
S2 コンクリート	26.9	26,370	1.97
S3 コンクリート*	24.0	26,890	1.96
S3 コンクリート ^s	26.9	26,370	1.97
S1 グラウト	92.3	39,610	6.31
S2 & S3 グラウト	99.8	39,260	4.45

備考：* =試験体 S3-S-cp108 と S3-C-cp150，^s =試験体 S3-C-n180



a) S1 と S2 試験体の場合 b) S3 試験体の場合
図-7 加力装置

(図-3-c)は、すべて45°以下であった。その結果、Series-1のコーンは、コンクリートブロックの幅がコーンの直径より小さくなったため、ブロック側面に沿って欠損した形状となった。

Series-1 (図-8-a)では、拡径部のないS1-S-d150試験体

は、最初、表層の小コーン（15mm 深さ）破壊が発生し（荷重 $Q=70.6\text{kN}$ ）、その後、コンクリートとグラウト界面における付着破壊となった。これに対し、アンカーの有効定着長さが同じ（150mm）で、拡径部を有する S1-C-d150 試験体の耐力は 1.16 倍（110.8kN/95.4kN）となった。また、拡径部有りで、アンカーの有効定着長さ 150mm の S1-C-d150 試験体と 180mm の S1-C-d180 試験体を比較すると、有効定着長さが長い試験体の耐力は、短い試験体の耐力の 1.35 倍であった。これは、図-3-c の破壊面②の付着効果であると考えられる。拡径部を有する試験体は、いずれもコーン破壊であった。

Series-2（図-8-b）では、アンカーの有効定着長さが同一であるが、アンカーヘッドの径が大きいほど耐力が大きくなる傾向が見られた。これは、拡径部の下にあるコンクリートとグラウトの界面における付着部の影響であると考えられる（図-3-c の破壊面②の付着効果）。より大きい径を有するアンカーヘッドの上端からグラウトに生じる斜めのひび割れが、コンクリートとグラウトの界面のより低い位置に存在すると、コンクリートとグラウトの界面での付着抵抗を持つため、より大きな耐力が得られる。さらに、S1-C-d180 試験体と S2-C-d180 試験体は、同一仕様の試験体であるが、耐力が異なった。これは、S1-C-d180 試験体のコンクリートブロック幅が 400mm に対し、S2-C-d180 試験体では 1000mm と広く、生じたコーン状破壊面の有効水平面積が大きくなり、かつコンクリート強度も大きいため、耐力が大きくなったと考えられる。

Series-3 では、コア孔径と同径の $\phi 54\text{ mm}$ 孔付き反力プレートを用いてアンカーを引き抜いたため、コーン破壊は生じない。拡径部のない S3-S-cp108 試験体は、グラウトとコンクリート界面での付着破壊を示した。この試験体の最大耐力（123.1kN）は、アンカーの有効定着長さ 150mm の S1-S-d150 の耐力（95.4kN）より大きい。これは、反力プレートから付着界面に作用する圧縮応力のためであると考えられる。S3-C-cp180 と S3-C-n180 試験体では、荷重が PC 鋼棒の降伏耐力に近づいたため、破壊まで載荷することができなかった。

付着破壊した S3-S-cp108 試験体の実験結果から、コンクリートとグラウト界面における付着強度を求めると 6.84N/mm^2 となる。この値を用いて、拡径部を有する S3-C-cp180 と S3-C-n180 試験体の実験結果から付着による負担分を差し引くと、拡径部のグラウトのせん断抵抗応力度あるいはアンカーヘッド部の支圧抵抗応力度または拡径上部の支圧抵抗応力度の下限値を推定できる。S3-C-cp180 試験体の拡径部グラウトのせん断破壊を想定した場合、当該部のせん断断面面積で除して、せん断抵抗応力度を求めると、 41.06N/mm^2 となる。このせん断応力度を、

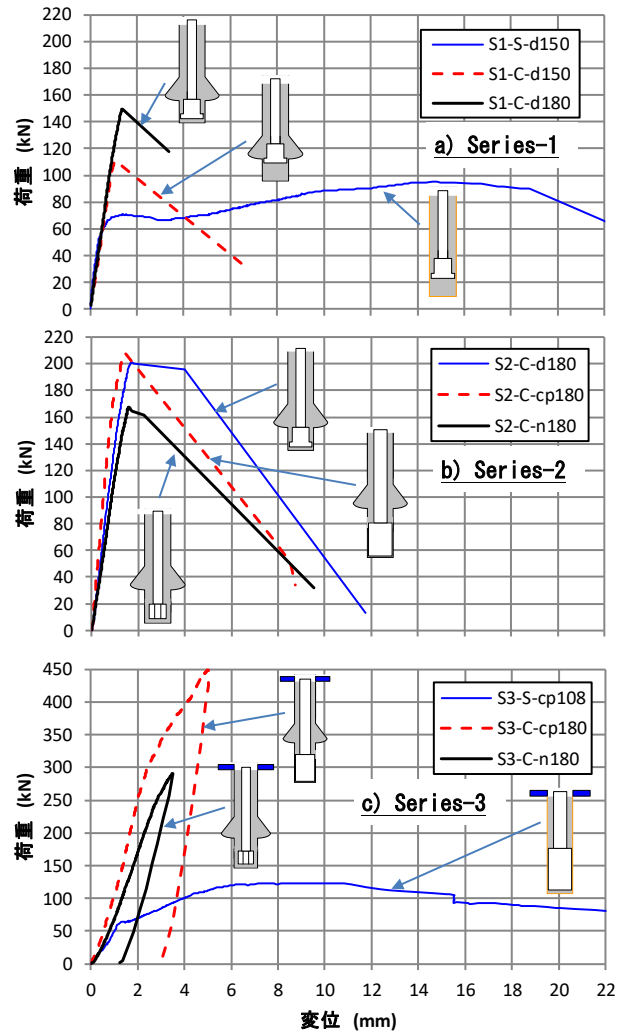


図-8 引抜き試験結果

式(5)により求めたグラウトの平均せん断強度 (τ_g) の計算値（低減係数を考慮しない時、 18.46N/mm^2 ）と比較すると、計算値より大きな値となっており、式(5)は、安全側の評価になる。一方、アンカーヘッド部の支圧破壊を想定すると、S3-C-cp180 と S3-C-n180 試験体の支圧部断面面積で除すことにより、グラウトの支圧強度下限値は、 314.4N/mm^2 と 341.3N/mm^2 と評価できる。この値は、グラウトの圧縮強度の 3.15 倍と 3.42 倍に相当する。また、拡径上部の支圧破壊を想定した場合、当該支圧断面面積で除すことにより、コンクリートの支圧強度下限値は、 59.6N/mm^2 と 38.4N/mm^2 と評価できる。この値は、コンクリートの圧縮強度の 2.48 倍と 1.43 倍に相当する。この結果は、反力プレートからの圧縮力による拘束応力状態では、グラウトおよびコンクリートの支圧強度は、前記の計算値よりも高いことを意味するものである⁹⁾。

拡径部付き試験体は、コーン状破壊と付着破壊（それぞれ、図-3-c の破壊界面④と破壊界面②）が同時に発生する破壊モードとなることを確認した。表-3 および図-9 に実験結果と計算結果を示す。図-9 には、破壊ま

で載荷できなかつた S3-C-cp180 と S3-C-n180 試験体の結果は示していない。

Series-1 の拡径部のない S1-S-d150 試験体の計算耐力は、実験値より高い（実験値/計算値 = 0.84）。一方で、Series-3 の拡径部のない S3-S-cp108 試験体の計算耐力は、実験値より小さい（実験値/計算値 = 1.37）。これは、コンクリートの平均付着強度（ τ_b ）の式(3)に起因すると考えられる。その式は、Series-3 のような加力方法によるアンカーの引抜き試験²⁾に基づいているので、このような拘束状況の場合、Series-3 の計算値は安全側となる。

Series-1 拡径部を有する試験体（S1-C-d150 と S1-C-d180）の計算耐力は、実験値とほぼ同一（実験値/計算値 = 1.01 と 1.13）である。これは、想定した 45° コーン状破壊面の有効水平面積が、発生したコーン状破壊面の有効水平面積（狭いコンクリートブロック：幅 = 400 mm、写真-1a）と近いためと考えられる。一方、Series-2 の試験体の（実験値/計算値）は 1.23~1.48 倍である。これは、想定した 45° コーン状破壊面の有効水平面積が、発生したコーン状破壊面の有効水平面積（広いブロック：幅 = 1000mm、写真-1b）より小さかったためと考えられる。

5. まとめ

コンクリートブロックに削孔した同一径あるいは拡径部を有するコア孔に、グラウトを注入し定着した頭付きアンカーの引き抜き試験の結果をまとめると、以下のようになる。

- (1) 拡径部を有する孔に定着された頭付きアンカーは、拡径部がない場合より、引抜き耐力が増大することを確認した。その破壊モードは、拡径部を基点としたコーン状破壊であり、破壊面の傾きは 45° 以下であった。
- (2) 拡径コア工法によるアンカーの有効定着長さが長いほど引抜き強度（耐力）も大きくなることが確認された。また、拡径コア工法によるアンカーヘッドの径が大きいほど引抜き強度（耐力）も大きくなることを確認できた。
- (3) 反力プレートを用いた引抜き試験体では、グラウト拡径部のせん断破壊、アンカーヘッド支圧破壊および拡径上部の支圧破壊が PC 鋼棒の降伏耐力を上回ることを確認した。
- (4) あと施工アンカーなどの式を組み合わせ、アンカーの引抜きの耐力を検証し、安全側に評価できることを確認した。

謝辞

株式会社アクティブには、試験体の削孔作業を実施して頂きました。ここに感謝の意を表します。

表-3 最大耐力の実験値および計算値 (kN)

試験体名	破壊面	P_{test}	P_{cal}	P_{test} / P_{cal}	評価式
S1-S-d150	②	95.4	112.9 ^s	0.84	式(2)
S1-C-d150	④と②	110.8	110.2	1.01	式(6)
S1-C-d180	④と②	149.6	132.9	1.13	式(6)
S2-C-d180	④と②	201.0	139.7	1.43	式(6)
S2-C-cp180	④と②	208.1	141.1	1.48	式(6)
S2-C-n180	④と②	167.4	135.7	1.23	式(6)
S3-S-cp108	②	123.1	89.7 ^{&}	1.37	式(2)
S3-C-cp180	-	450.4 [*]	209.9	2.15	式(4)
S3-C-n180	-	290.3 [*]	211.1	1.38	式(4)

備考： P_{test} = 実験値， P_{cal} = 計算値，* = PC 鋼棒降伏耐力前に加力を終了した時における荷重，^s = 表層の小コーン部による長さを全付着長さから差し引いた有効付着長さによる耐力値，[&] = 完全付着破壊による耐力値，② = 図-3-a の破壊界面②，④と② = 図-3-c の破壊界面④と破壊界面②

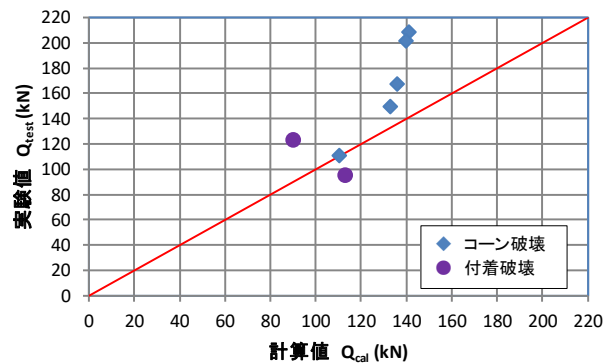


図-9 実験値と計算値の比較

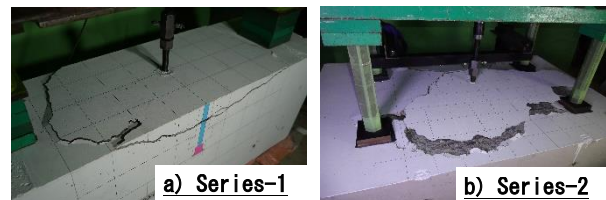


写真-1 コーン状破壊面有効水平面積

参考文献

- 1) 寺戸秀和：溝を有する孔内に打設されたアンカーボルトの引抜き試験，日本建設機械施工協会，CMI 報告，11月号，pp.71-74，2011
- 2) 日本建築学会：各複合成構造設計指針・同解説，2010
- 3) 岡田恒男，田中礼治，松崎育弘，坂本功，河村壮一：あと施工アンカー 設計と施工，技術書院，1990
- 4) 宮内靖昌，菅野俊介，岡本晴彦，村井和雄，石井修：プレキャスト鉄筋コンクリート小梁部の接合法に関する実験的研究（その4），日本建築学会大会学術講演梗概集，構造IV，pp.685-686，1991
- 5) Thomas Gabet, Yann Malécot, Laurent Daudeville : Triaxial Behaviour of Concrete under High Stresses, Cement and Concrete Research, Vol.38, pp.403-412, 2008