

無機系注入式アンカー(セメフォースアンカー)の付着特性に関する研究

群馬工業高等専門学校 学生会員 ○佐々木靖幸
群馬工業高等専門学校 学生会員 柳原 駿太
群馬工業高等専門学校 正会員 田中 英紀

1. はじめに

現在、接着系あと施工アンカー材として注目されているものに、無機系注入式アンカー(セメフォースアンカー)がある。この無機系注入式アンカーは、環境性、耐熱性、施工性に優れた材料であるが、施工条件による付着特性や耐力低下は、アンカー材の種類によって異なるため、不明確な部分が多い。

そこで、本研究では、無機系注入式アンカーについて、万能試験機を用いた押し抜きによる付着試験を行い、アンカー筋の種類、注入孔径、注入孔長さ、注入孔壁の磨き処理の有無、注入孔壁の凹凸の有無が付着特性に与える影響について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体材料

試験体に用いたアンカー筋の材料特性を表-1に、母材コンクリートとアンカー材の材料特性を表-2に示す。試験体に用いたアンカー材は、住友大阪セメント株式会社が製作、販売を行っている無機系注入式アンカーのセメフォースアンカー¹⁾である。

2.2 試験体基本事項

付着試験に用いた試験体基本形状を図-1に示す。試験体は、注入孔を設けた直径 150mm の母材コンクリートにアンカー筋を固定し、注入孔内にアンカー材を注入して製作した。注入孔へのアンカー筋の固定および注入孔内へのアンカー材の注入は、母材コンクリートの打設後 28 日に行った。

2.3 試験体条件

2.3.1 アンカー筋の種類による影響

アンカー筋の種類が、付着特性に与える影響を確認するために、アンカー筋に丸鋼 R13(種類: SR295)および異形棒鋼 D13(種類: SD295A)を用いた。母材コンクリートに注入孔を設ける型枠として、塩ビ管を用いた。塩ビ管には、母材コンクリート硬化後に脱型を容易に行うため、グリスを塗布した。ただし、

表-1 アンカー筋の材料特性

呼び名	種類	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
R13	SR295	316	441
D13	SD295A	336	454

表-2 母材コンクリートとアンカー材の材料特性

実験因子	母材コンクリート (材齢28日)	アンカー材 (材齢7日)
	圧縮強度(N/mm ²)	圧縮強度(N/mm ²)
アンカー筋・注入孔径 注入孔長さ	50.3	55.0
磨き処理の有無 凹凸の有無	54.0	50.6

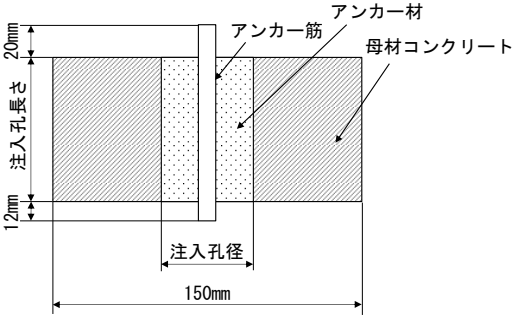


図-1 試験体基本形状

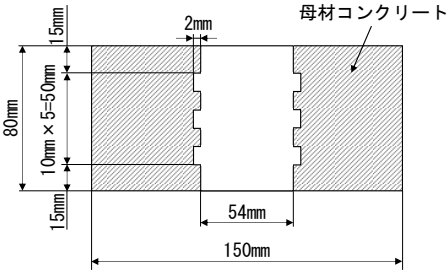


図-2 注入孔壁の凹凸形状

グリスによる付着特性への影響を排除するために、注入孔壁にワイヤーブラシを用いて磨き処理を行った。注入孔径は 60mm とし、注入孔長さは 80mm とした。また、アンカー筋は注入孔の中心に配置した。

2.3.2 注入孔径・注入孔長さによる影響

アンカー筋の 2 倍以上の範囲での注入孔径が、付着特性に与える影響を確認するために、注入孔径を 48, 60, 76mm と変化させて実験を行った。母材コンクリートの注入孔は、グリスを塗布した塩ビ管を

キーワード 無機系注入式アンカー, 付着特性, 押し抜き, コーン状破壊, 付着破壊

型枠として、前記した方法で設けた。注入孔長さは 30, 40, 55, 65, 80mm でそれぞれ実験を行い、同時に注入孔長さによる影響も確認した。また、アンカー筋には D13 を使用し、注入孔の中心に配置した。

2.3.3 注入孔壁の磨き処理・凹凸の有無による影響

実際の施工現場では、注入孔を設ける型枠として、耐水性があり、取り外しが容易である、紙をスパイラル状に巻いた管(以下、ボイド管)を用いる場合がある。そこで、ボイド管を用いて母材コンクリートに注入孔を設け、注入孔壁へのワイヤーブラシによる磨き処理の有無が、付着特性に与える影響を確認した。また、ボイド管に幅 10mm、厚さ 2mm のゴムを接着したものを用いて型枠とし、図-2 に示すような凹凸を注入孔壁に設け、同時に注入孔壁の凹凸の有無が付着特性に与える影響を確認した。なお、注入孔壁に凹凸を設けた試験体には、ワイヤーブラシによる磨き処理を行わないこととした。注入孔径は 54mm とし、注入孔長さは 80mm とした。また、アンカー筋には D13 を使用し、注入孔の中心に配置した。

2.4 付着試験

アンカー材の注入後 7 日に付着試験を行った。

付着試験は、図-3 に示すように、万能試験機 (SHIMADZU UH-F1000kNI) を用いてアンカー筋に押し抜く力を作用させて行った。変位制御 2mm/min で試験を行った。なお、試験台座は、材質 SS400、外径 150mm、肉厚 25mm、高さ 50mm である。

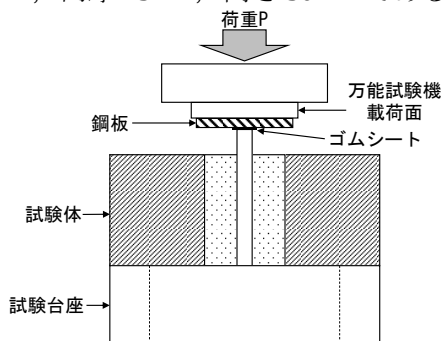


図-3 押し抜き付着試験

3. 実験結果および考察

3.1 アンカー筋の種類による影響

表-3 にアンカー筋の種類による付着試験結果を、図-4 に荷重-変位曲線を、図-5 に付着試験終了後の試験体の破壊状態を示す。

D13 の最大荷重は、R13 の 9 倍程度となり、最大荷重時の変位は、R13 の 3 倍程度となった。

表-3 アンカー筋の種類による付着試験結果

試験体名 (アンカー筋)	注入孔長さ (mm)	最大荷重 (kN)	最大荷重時変位 (mm)
R13	80.0	5.4	0.94
D13	80.4	48.4	2.48

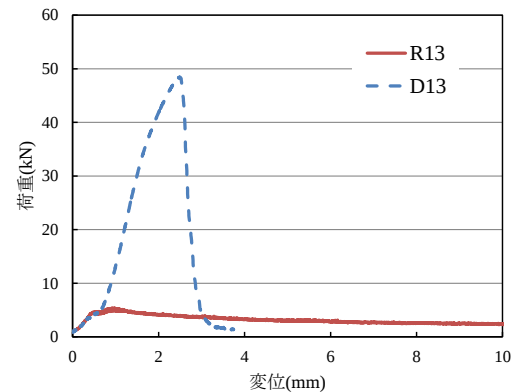


図-4 アンカー筋の種類による荷重-変位曲線

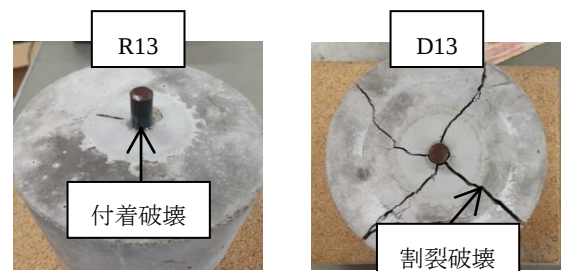


図-5 アンカー筋の種類による破壊状態（下面）



図-6 D13 の場合の破壊面

R13 について最大荷重以降は、荷重が徐々に低下しながら、変位が増加した。これは、アンカー筋とアンカー材の界面で付着破壊が生じ、徐々にアンカー筋が抜けたためと考えられる。一方、D13 について最大荷重以降は、荷重が大きく低下した。これは、試験体下面に発生する引張力によって、割裂破壊が生じたためと考えられる。

図-6 に D13 の場合の破壊面を示す。この場合、コーン状の破壊が生じていた。接着系あと施工アンカーの破壊状態として、アンカー筋の降伏、母材コンクリートのコーン状破壊、アンカー筋の付着破壊が考えられている²⁾。このうちの母材コンクリートのコーン状破壊が、D13 を用いた試験体で観測された。

表-4 注入孔径・注入孔長さによる付着試験結果

注入孔径 (mm)	注入孔長さ		最大荷重 (kN)	最大荷重時 変位 (mm)	コーン状 破壊の有無 (破壊面)*1	コーン状 破壊高さ (mm)
	設計	(mm)				
48	30	29.2	8.3	0.94	×	-
60		30.7	5.8	1.12	×	-
76		30.3	6.2	0.81	×	-
48	40	39.4	12.3	1.16	×	-
60		40.0	9.4	0.85	×	-
76		40.3	11.7	1.13	×	-
48	55	54.2	22.5	1.42	×	-
60		54.5	18.7	1.34	×	-
76		54.9	21.0	1.51	○	31
48	65	65.2	33.4	1.78	○	36
60		64.9	32.0	1.75	○	31
76		65.5	28.5	1.55	○	34
48	80	81.7	49.4	2.81	○	52
60		80.4	48.4*2	2.48	○	39
76		81.8	43.3	2.26	○	39

*1: 母材コンクリートまで破壊が達しているもので判断
*2: 3.1 項の D13 と同一のデータ

3.2 注入孔径・注入孔長さによる影響

表-4 に注入孔径・注入孔長さによる付着試験結果を示す。表-4 に示すすべての試験体において、割裂破壊が生じていた。また、破壊面のコーン状破壊は、注入孔長さが 55mm 以下では発生しない傾向が確認された。これは、注入孔長さが短くなるのに伴い、コーン状破壊高さが低くなることに関係していると考えられる(図-7 参照)。注入孔長さが短くなり、発生するとされるコーン状破壊高さが本実験では 30mm 程度を下回ると、支配的となる破壊がコーン状破壊から割裂破壊へと移行した。

図-8 に注入孔径による最大荷重の違いを示す。コーン状破壊がいずれの注入孔径でも発生した、注入孔長さが 65, 80mm の試験体では、注入孔径が大きくなるのに伴い、最大荷重が低下する関係にあった。一方、コーン状破壊がいずれの注入孔径でも発生しなかった、注入孔長さが 30, 40mm の試験体では、同様な関係はみられなかった。しかし、注入孔長さ 30mm, 注入孔径 60, 76mm の試験体および注入孔長さ 40mm, 注入孔径 60mm の試験体の最大荷重は、他の注入孔径の試験体と比較して低い値となった。

実験より得られた荷重-変位曲線には、曲線のピークが 1 つの挙動 A と、ピークが 2 つの挙動 B がみられた(図-9 参照)。最大荷重が低い値を示した試験体では、挙動 B を示していた。挙動 B は、荷重載荷後の最初のひび割れ(以下、1 次ひび割れ)とは別のひび割れ(以下、2 次ひび割れ)で破壊に至ったため、発生したと考えられる。1 次ひび割れにより荷重は低下するが、破壊には至らず、別の部分で力を受け荷重が

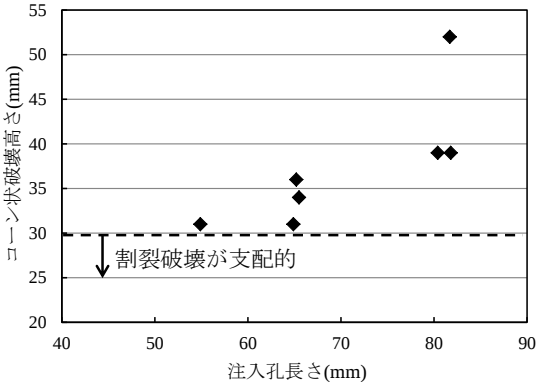


図-7 注入孔長さとコーン状破壊高さの関係

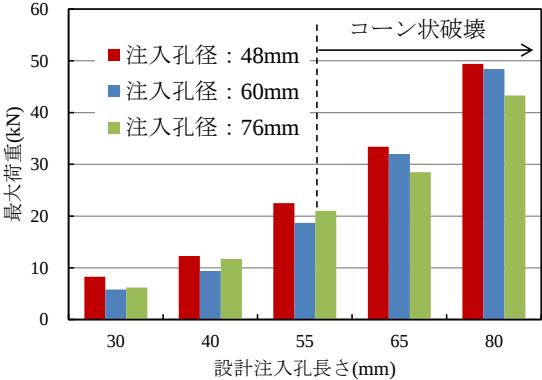


図-8 注入孔径による最大荷重の違い

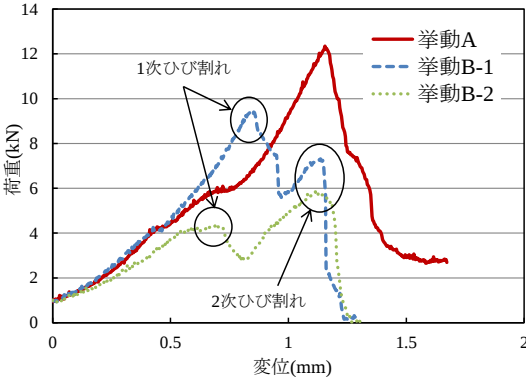


図-9 荷重-変位曲線の挙動

増加する。その部分で 2 次ひび割れが生じ、破壊に至るために、荷重-変位曲線のピークが 2 つ生じた。1 次ひび割れとみられるものは、注入孔長さ 30mm, 注入孔径 76mm の試験体で確認できた。その他の試験体の 1 次ひび割れは確認できなかった。これは、2 次ひび割れによる破壊が生じた際に、1 次ひび割れに沿った破壊も生じてしまったためと考えられる。

3.3 注入孔壁の磨き処理・凹凸の有無による影響

表-5 に注入孔壁の磨き処理・凹凸の有無による付着試験結果を、図-10 に荷重-変位曲線を、図-11 に付着試験終了後の試験体の破壊状態を示す。

磨き処理有の最大荷重は、磨き処理無に比べ、20% 程度高い結果となった。また、凹凸有と凹凸無の最

大荷重は、ほぼ同等になった。

磨き処理有について最大荷重以降は、荷重が大きく低下した。これは、割裂破壊が生じたためと考えられる。磨き処理無(凹凸無)について最大荷重以降は、荷重が大きく低下した後、荷重が徐々に低下しながら、変位が増加した。これは、母材コンクリートの割裂破壊が先行し、その後、母材コンクリートとアンカー材の界面での付着破壊が進行したためと考えられる。凹凸有について最大荷重以降は、荷重が大きく低下した。これは、磨き処理有と同様に、割裂破壊が生じたためと考えられる。

接着系あと施工アンカーの引張耐力の算定において、母材コンクリートとアンカー材の付着破壊を対象としているものはない²⁾。また、磨き処理無では、前述したように母材コンクリートとアンカー材の界面で付着破壊が生じており、母材コンクリートとアンカー材は一体化していない。以上より、磨き処理有では最大荷重が高いことと、一体化した破壊であることから、注入孔壁に磨き処理を行う必要があると考えられる。また、凹凸有と凹凸無で最大荷重に大きな差はみられなかったが、母材コンクリートとアンカー材を一体化させるという点においては、注入孔壁の凹凸は有効であると考えられる。

4. まとめ

無機系注入式アンカー(セメフォースアンカー)について、万能試験機を用いた押し抜きによる付着試験を行い、アンカー筋の種類、注入孔径、注入孔長さ、注入孔壁の磨き処理の有無、注入孔壁の凹凸の有無が付着特性に与える影響について検討を行った。

- 1) アンカー筋に丸鋼 R13 を用いると、アンカー筋の付着破壊が生じた。また、異形棒鋼 D13 を用いると、コーン状破壊を伴う割裂破壊が生じた。
- 2) コーン状破壊が発生した注入孔長さ 65, 80mm の試験体において、注入孔径が大きくなるのに伴い、最大荷重が低下する関係にあった。
- 3) 注入孔壁に磨き処理を行わない場合、母材コンクリートとアンカー材が一体化しなかった。注入孔壁に磨き処理または凹凸を設けることで、母材コンクリートとアンカー材が一体化した。今後の課題としては、注入孔壁の凹凸を大きくした場合の調査が挙げられる。

表-5 磨き処理・凹凸の有無による付着試験結果

試験体名	注入孔長さ (mm)	最大荷重 (kN)		最大荷重時変位 (mm)	
		平均	平均	平均	平均
磨き処理有	80.7	29.9	33.0	1.67	1.83
	79.9	36.1		1.99	
磨き処理無 (凹凸無)	80.0	30.8	27.2	1.74	1.69
	80.2	23.6		1.63	
	81.8	32.3		2.06	
凹凸有	80.2	29.4	26.7	1.67	1.74
	79.6	18.3		1.49	

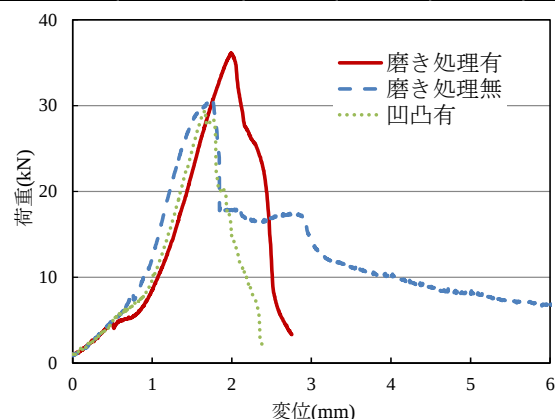


図-10 磨き処理・凹凸の有無による荷重-変位曲線

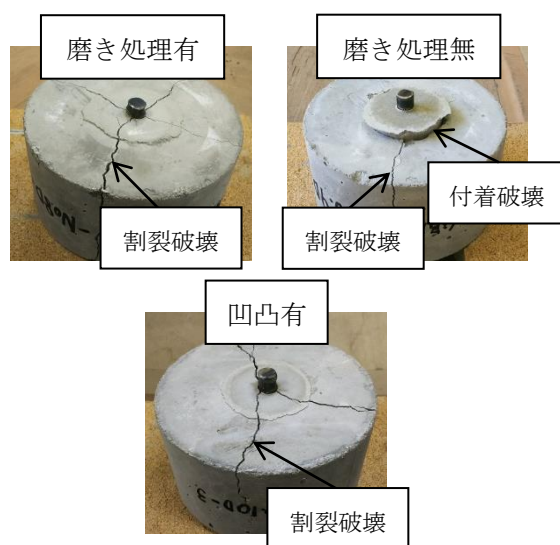


図-11 磨き処理・凹凸の有無による破壊状態(下面)

謝辞

本研究の実施にあたり、材料提供およびご指導いただきました住友大阪セメント株式会社安藤重裕氏、兼吉孝征氏に深く感謝します。

参考文献

- 1) 住友大阪セメント株式会社:セメフォースアンカー, https://www.soc-tec.com/gr/pdf/c_anchor.pdf (2017年12月30日閲覧)
- 2) 国土交通省:別添「あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針」, <http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/anchor/060707sisin.pdf>(2017年12月21日閲覧)