

# 論文 超速硬セメント系注入式あと施工アンカーの環境および施工条件が 付着強度に及ぼす影響に関する実験的研究

安藤 重裕\*1・中野 克彦\*2・渡辺 一弘\*3

**要旨：**超速硬セメント系注入式あと施工アンカーについて、異形鉄筋 D13 を用いてアンカー材の付着強度特性を調べ、コンクリートの乾燥、湿潤および施工条件が及ぼす付着強度への影響を検討した。コンクリート強度 24N/mm<sup>2</sup>における付着強度は 25N/mm<sup>2</sup>以上であり、5℃においても材齢 7 日で 20℃の材齢 7 日と同等の付着強度となった。また、アンカー施工において、アンカー筋の埋込み長さより穿孔深さが大きいほど付着強度は高くなる傾向が認められ、20℃で乾燥させたコンクリートにアンカー施工を行った場合、ドライアウト現象は発生しなかった。

**キーワード：**あと施工アンカー、超速硬セメント、接着系アンカー、付着強度、ドライアウト

## 1. はじめに

接着系あと施工アンカーに使用される材料には、エポキシアクリレート系樹脂、エポキシ樹脂、ビニルエステル樹脂などの有機系材料が多く用いられている。しかし、有機系材料であるため、VOC ガスの発生、耐火性能、湿潤条件下での施工等が懸念されている。<sup>1,2)</sup>

一方、無機系アンカーは、シックハウスの原因物質である有害化学物質等を含まず、安全性の高い材料であるが、無機系アンカー材の付着性能に関する報告例は少なく<sup>3)</sup>、特に無機系注入式あと施工アンカーについては、施工条件に関しても不明確な点も多い。そこで、本研究では、超速硬セメント系注入式あと施工アンカーについて、環境および施工条件が及ぼす付着強度への影響について検討を行った。

平均付着強度試験の試験体形状を図-1に示す。コンクリートの圧縮試験、静弾性係数の測定は、φ100×200mmの円柱供試体を用い、アンカー材についてはφ50×100mmの円柱供試体を用い、付着試験実施と同時に行った。

付着試験に用いた試験体は、コンクリート割裂防止のため鋼管（外径 216mm、厚さ 4.5mm）で拘束し、アンカー筋の埋込み長さを 7da（da：アンカー筋の呼び径）とし、アンカー筋に D13 の高強度鉄筋を用いた。実験要因は、超速硬セメント系注入式アンカー（PO）と先付け異形鉄筋（CA）の 2 種類とし、PO の試験体穿孔は、φ18mm で湿式コアドリルにて行った。アンカー施工は、コンクリートの打設後 28 日で 3 本行い、更に 28 日後に付着試験を行った。

## 2. 実験概要

### 2. 1 試験材料

試験に用いた接着系アンカーは、カートリッジ内に超速硬セメント、砂等が配合された粉体に水を注入、攪拌して用いるタイプであり、水結合材比 0.38 で混合して使用した。

### 2. 2 基本平均付着試験

付着試験に用いた試験材料の物性値を表-1に、松崎、中野らが提案している引き抜き試験方法<sup>4)</sup>に準じた基本

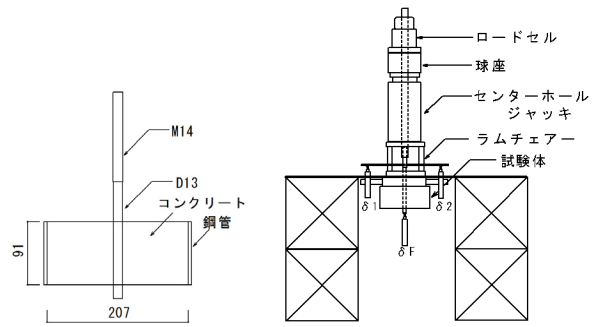


図-1 試験体形状

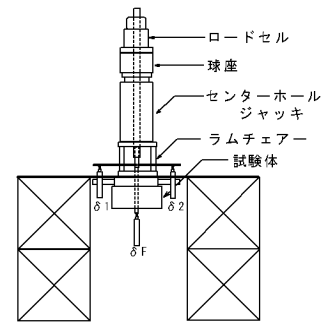


図-2 測定装置

表-1 基本平均付着試験に用いた試験材料の物性

コンクリート		アンカー材		アンカー筋				埋込長さ (mm)
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	径	種類	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	
24.3	28.4	63.5	25.0	D13	MK785	791	190	91

\*1 住友大阪セメント（株） セメント・コンクリート研究所（正会員）

\*2 千葉工業大学 工学部建築都市環境学科教授 博士（工学）（正会員）

\*3（独）都市再生機構 技術調査室（正会員）

図-2に加力・測定装置図を示す。加力は付着破壊を起こさせるために反力プレート(厚さ20mm, 孔径25mm)を試験体の上に設置し、プレートの上にラムチェアーおよび球座を設置し、センターホールジャッキにより試験体に引張力を導入した。測定は荷重、自由端(図-2の $\delta_F$ )および載荷端側(図-2の $\delta_1, \delta_2$ )のアンカー筋の拔出量とした。

### 2. 3 環境温度による影響

環境温度によるアンカーの付着性能を確認するため、5℃および20℃における付着強度の測定を行った。試験体は、400×800×250mmの材齢12カ月以上のコンクリートを用い、湿式コアドリルにより $\phi 18\text{mm}$ に穿孔した後、5℃および20℃の恒温室内で試験体を移動した。24時間以上静置後、アンカー施工を各5本行い、所定材齢養生後、付着強度およびアンカー材の圧縮強度を測定した。コンクリート強度については、恒温室内へ移動前に $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の供試体を用いて測定した。また、アンカー筋の先端形状は、寸切りとし、埋込み長さは6daとした。アンカー筋の埋込み長さは、アンカー筋の長さから、コンクリートから突出したアンカー筋の長さを差し引き算出した。

図-3に試験体および試験装置を示す。加力は付着破壊を起こさせるために反力プレートを用いた。

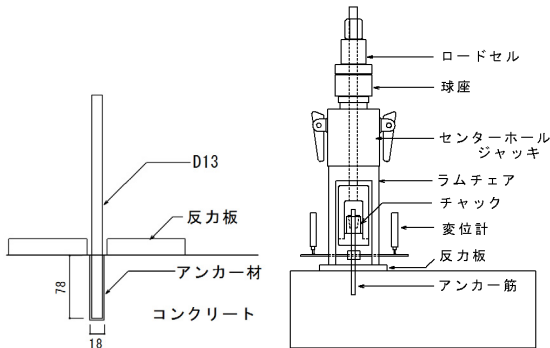


図-3 試験体および引張試験装置

### 2. 4 穿孔深さによる影響

アンカー筋の埋込み長さを6daと一定とし、穿孔深さを、6da, 6.5da, 7da, 9da, 11daと変化させ、穿孔深さの影響を確認した。穿孔において、底部の凸凹の影響をなくすためノンコアビットを用い、試験体は、400×800×250mmの材齢3カ月経過したコンクリートを使用した。アンカー施工は各5本行い、アンカー施工7日後に「2. 3 環境温度による影響」と同様の試験装置を用いて付着強度を測定した。

### 2. 5 コンクリートの乾燥状態による影響

コンクリートの下地状態が付着強度へ影響を及ぼす事が考えられることから、コンクリートの乾燥状態を変化

させて、付着強度を各3本測定した。

試験体は、鋼管(外径216mm, 厚さ4.5mm, 高さ228mm)に埋め込んだ材齢5カ月経過したコンクリートを使用した。

アンカー施工前のコンクリートの乾燥条件を表-2に示す。乾燥状態の試験体の作製は、穿孔後、20℃, 60%R.H.の恒温恒湿室内で試験体を28日以上乾燥させた後、アンカー施工を行った。

乾燥させた試験体によるドライアウトの影響を確認するため、水湿しの有無による付着強度試験を実施した。水湿しは、アンカー施工直前に孔内へ水を満たし、すぐに水を排出することにより行った。

また、湿潤状態のコンクリートは、穿孔後、20℃の水中に穿孔した試験体を28日間水中に浸漬し、試験前に水中から取り出し、孔内の水分を取り除いた後に、アンカー施工を実施した。

付着試験は、アンカー施工7日後に試験を行い、アンカー施工時のコンクリートの含水率について、コンクリート表面を静電容量式水分計により測定した。コンクリート強度については、各環境下へ移動前に $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の供試体を用いて測定した。

### 2. 6 せん断試験

コンクリートの乾燥状態がアンカー材に及ぼす影響を確認するため、表-3の条件の試験体について、アンカー材とコンクリートのせん断試験を行った。試験体は、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ を高さ100mmにカットし、各乾燥条件に28日間静置後、せん断試験体の作製を行った。試験体は、 $\phi 100\text{mm}$ の断面にアンカー材を3mm厚になるように塗布し、コンクリートを貼り合わせたものを試験に用いた。せん断試験体および装置を図-4に示す。試験体は、アンカー材とコンクリートとの界面にせん断力が作用するように設置し、せん断応力度の増加が毎秒0.06 N/mm<sup>2</sup>となるように载荷し各3本測定を行った。

表-2 付着試験におけるコンクリート乾燥、施工条件

	コンクリート 乾燥条件	定着前状態 水湿し
①	20℃ 気中	なし
②	20℃ 気中	あり
③	20℃ 水中	なし

表-3 せん断試験におけるコンクリート乾燥条件

	コンクリート乾燥条件
①	20℃ 水中
②	20℃ 60%R.H.

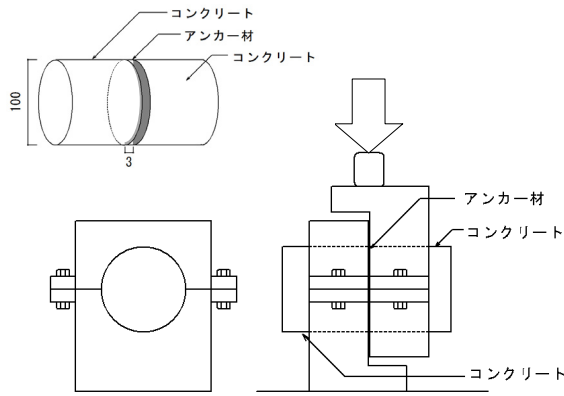


図-4 せん断試験体および試験装置

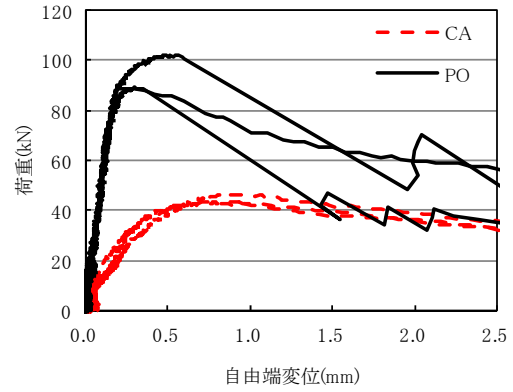


図-5 荷重と自由端変位

### 3. 試験結果

#### 3.1 基本平均付着試験結果

表-4に付着試験結果を示し、図-5に荷重と自由端変位の関係を示す。付着強度 ( $\tau_{bl}$ ) は、最大荷重をアンカー筋の公称直径 ( $d_{a1}$ ) と埋込長さ ( $l_b$ ) で除した値とした。

POの最大耐力は、CAの2倍程度になり、最大耐力時の自由端の抜け出し量は、CAの1/2~1/3になった。

POの抜け出し量は、0.2~0.3mmで大きくなり、最大耐力に至った後は、耐力が大きく低下する傾向が認められた。一方、CAの自由端変位は、荷重20kNでPOの3倍程度と大きく、また、最大耐力に至った後は、徐々に荷重は低下する傾向となった。

コンクリート強度  $\sigma_B = 24.3 \text{ N/mm}^2$  における D13 の付着強度は、 $25.7 \text{ N/mm}^2$  であり、各種合成構造設計指針・同解説<sup>5)</sup>等 に示されている接着系アンカー(カプセル方式/有機系)の基本平均付着強度 ( $\tau_b = 10\sqrt{(\sigma_B/21)}$ ) に対し PO の  $\tau_{bl}$  は、2倍以上となり、今回の使用した材料のアンカーの設計においては、カプセル方式/有機系の算出式が適用できるものと考えられる。

写真-1に加力終了後に試験体から引き抜いたアンカ

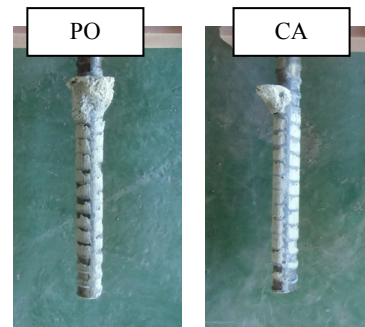


写真-1 引抜後アンカー筋状況

一筋の接着部分の破壊状況を示す。POにおけるアンカーの破壊状況は、アンカー材とアンカー筋の界面が主な破断であり、コンクリートとアンカー材界面では、十分は付着強度が発現していたと思われる。そのため、破壊形態は、荷力による鉄筋の変形の影響により、POとCAは同様の破壊形態となったものと考えられる。

#### 3.2 環境温度による影響結果

表-5に5℃および20℃における付着強度の結果を、図-6にアンカー材の材齢と付着強度の関係を示す。表中の実験結果は同一要因の試験体の平均値とした。

5℃、20℃いずれもアンカー材の材齢とともに付着強度

表-4 基本平均付着試験結果

試験体名	径		埋込長さ (mm) $l_b$	最大耐力 (kN) $P_{max}$	付着強度*2 ( $\text{N/mm}^2$ )		拔出量*3 (mm)	
	アンカー筋*1 (mm) $d_{a1}$	穿孔 (mm) $d_{a2}$			$\tau_{b1}$	$\tau_{b2}$	$\delta_L$	$\delta_F$
PO / あと施工アンカー	12.7	18	91	102	28.2	19.4	1.47	0.48
				89	24.5	16.8	0.87	0.27
				89	24.6	16.8	1.08	0.30
CA / 先付けアンカー	12.7	-	91	43	12.0	-	1.12	0.83
				47	12.8	-	1.18	0.84
				48	13.3	-	1.11	0.76

\*1: アンカー筋公称径

\*2:  $\tau_{b1} = \pi \times \text{アンカー筋径} \times \text{埋込長さ}$   $\tau_{b2} = \pi \times \text{穿孔径} \times \text{埋込長さ}$

\*3:  $\delta_L$  は最大耐力時の荷重端拔出し量,  $\delta_F$  は最大耐力時の自由端拔出し量

表-5 各温度による材齢と付着強度試験結果

温度 (°C)	材齢 (日)	埋込長さ le (mm)	最大耐力 Pmax (kN)	付着強度 $\tau_{bl}$ (N/mm <sup>2</sup> )	拔出量 $\delta L$ (mm)	コンクリート 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	アンカー材 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
5°C	3	79.4	73	22.9	0.59	29.1	45.4
	7	79.6	88	27.8	0.72		54.7
	28	80.7	100	31.2	0.81		67.7
20°C	1	78.4	67	21.4	0.61		36.5
	3	78.8	85	26.9	0.76		53.7
	7	78.3	91	29.0	0.85		55.9
	28	78.8	98	31.3	0.82		63.5

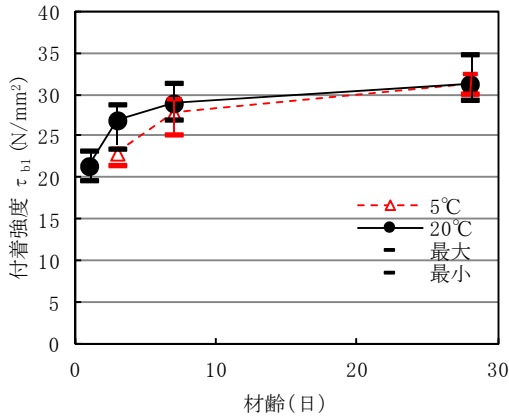


図-6 材齢と付着強度

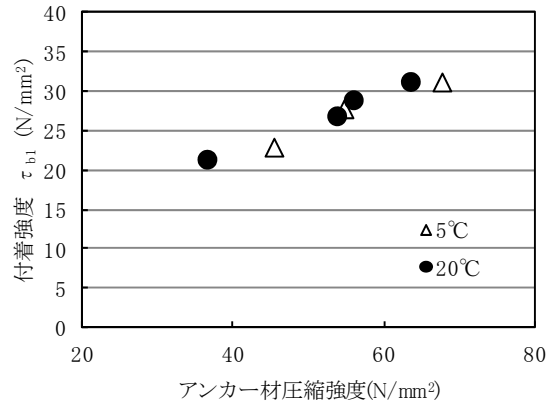


図-7 アンカー材の圧縮強度と付着強度の関係

は高くなる傾向となり、5°Cにおいても材齢3日で付着強度は23N/mm<sup>2</sup>、材齢7日で28N/mm<sup>2</sup>であり、20°Cの材齢7日の付着強度とほぼ同等になった。

図-7にアンカー材の圧縮強度と付着強度の関係を示す。付着強度は、アンカー材の圧縮強度が高くなるに伴い、付着強度は高くなり、今回の材料では、コンクリート強度が30N/mm<sup>2</sup>程度であれば、アンカー材の圧縮強度が50N/mm<sup>2</sup>以上で、付着強度も25N/mm<sup>2</sup>以上となった。

図-8に20°Cにおける材齢毎の荷重と載荷端変位の関係を示す。ここでは、最大荷重が平均値に近い結果の一つを示した。荷重が20kN程度の載荷において材齢によらず、変位量は0.05~0.20mmであった。

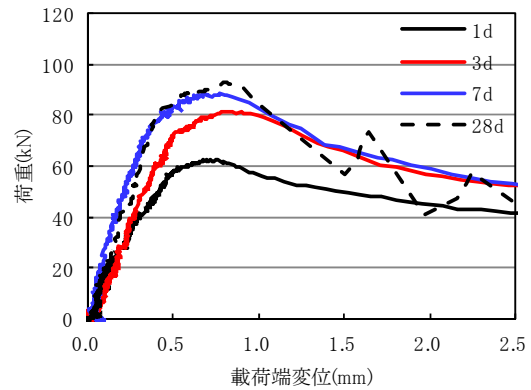


図-8 材齢による載荷端変位と荷重

### 3.3 穿孔深さによる影響結果

表-6に穿孔深さによる付着強試験結果の平均値、図-9に穿孔深さと付着強度の関係を示す。

穿孔深さが大きい方が付着強度は高くなる傾向が認められ、アンカーの破壊状況は、いずれもアンカー材とアンカー筋の界面破断が主な破断であった。

埋込み長さが一定にもかかわらず、穿孔深さが大きいものほど付着強度が高くなった原因として、アンカー材の強度がコンクリート強度より2倍以上高く、穿孔深さが大きくなるに伴い、アンカー材が接着するコンクリー

ト表面積は増加し、アンカー材は孔の中でアンカー筋と一体化したため、穿孔深さが大きい場合に付着強度が高くなったことが考えられる。

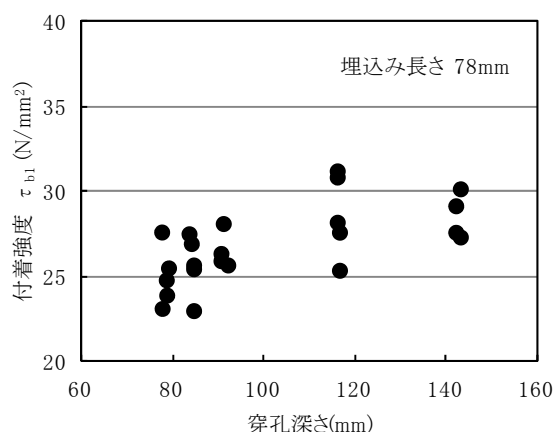
### 3.4 コンクリートの乾燥状態による影響結果

コンクリートの乾燥状態による付着試験結果を表-7、図-10に示す。表中の実験結果は同一要因の試験体の平均値とし、コンクリート、アンカー材の圧縮強度試験は、付着試験実施と同時にを行った。

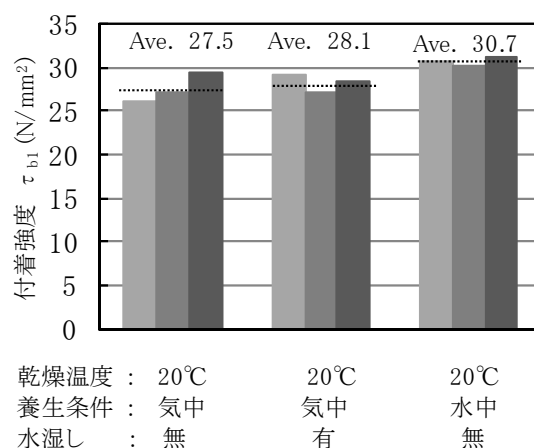
コンクリートにアンカー材の水が移動し、セメントの

表－6 穿孔深さが付着強度に及ぼす影響

	穿孔深さ l (mm)	埋込長さ le (mm)	最大耐力 Pmax (kN)	付着強度 $\tau_{b1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	拔出量 $\delta L$ (mm)	コンクリート 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	アンカー材 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
6da	78.2	77.6	77	25.0	0.61	23.5	54.8
6.5da	84.2	76.7	79	25.7	0.99		
7da	91.0	77.2	82	26.5	1.16		
9da	116.2	76.6	88	28.7	0.76		
11da	142.5	76.8	88	28.6	0.96		



図－9 穿孔深さと付着強度



図－10 コンクリートの乾燥状態による付着強度

水和が阻害されるドライアウトの発生の有無を確認するため、20℃で乾燥させた試験体において、水湿しの有無による付着強度試験を実施した。水湿しを行なわなかった試験体の付着強度は、水湿しを行なった試験体の付着強度と同等の値を示し、今回の条件における乾燥状態ではドライアウトは発生しなかったと考えられる。

次に、養生条件の違いにおける付着強度への影響を確認した。20℃で水中養生した試験体の付着強度は、気中で養生した試験体に比べ、1.1倍程度高い値を示した。

引き抜き後のアンカー筋状況を写真－2に示す。破壊箇所は、アンカー材とアンカー筋の界面であり、気中で乾燥させた試験と水中養生させた試験体では、破壊形態に差異は認められなかった。静電容量式水分計で測定したコンクリートの水分率は、気中で乾燥させた試験体は

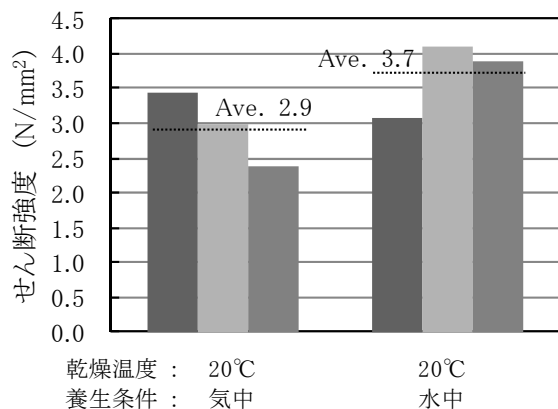


写真－2 引き抜き試験後のアンカー筋状況

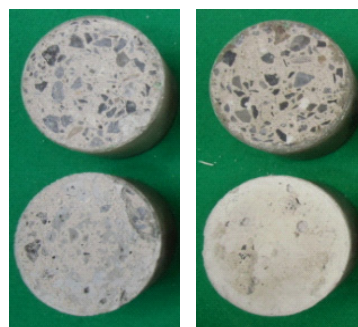
約4.6%、水中養生した試験体は6%程度であり、水中養生を行った試験体の付着強度が向上した要因として、コ

表－7 コンクリート乾燥、施工条件による付着試験結果

コンクリート 乾燥条件	定着前状態	穿孔深さ l (mm)	埋込長さ le (mm)	最大耐力 Pmax (kN)	付着強度 $\tau_{b1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	拔出量 $\delta L$ (mm)	コンクリート 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	アンカー材 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート 水分率 (%)
20℃ 気中	なし	81.5	77.7	85	27.5	0.70	27.5	54.8	4.7
20℃ 気中	あり	82.9	78.1	88	28.1	0.99			4.6
20℃ 水中	なし	83.3	77.9	95	30.7	0.85			5.8



図一 11 コンクリートの乾燥状態によるせん断強度



写真一 3 せん断試験終了後の試験体状況  
乾燥温度: 20℃ 20℃  
湿潤状態: 気中 水中

写真一 3 せん断試験終了後の試験体状況

コンクリートの水分率が影響したことで、水中養生期間中にコンクリート強度が増進したことが考えられる。水分率の影響をさらに明確化するために、実験データを蓄積する必要がある。

一方、実際の施工における穿孔において、湿式コアドリルを使用する場合、水を使用する事からアンカー施工時にはコンクリートの水分率が増加し付着強度が、向上することが考えられる。今後、これらの穿孔方法による差異の検証を行い、付着強度へ及ぼす影響を確認する必要がある。

### 3. 5 せん断強度結果

図一 11 に 3 つの試験体のせん断強度試験結果をそれぞれ示し、試験後の試験体状況を写真一 3 に示す。水中で養生した試験体は、付着試験と同様に、気中で養生した試験体に比べ同等もしくは若干高い値を示した。また、水中養生した試験体の破断面は、コンクリート中のセメントモルタル部分の一部が欠損しており、アンカー材とコンクリートが一体化している状況が確認された。モルタルとコンクリートとの付着は、アンカー効果、拡散接着などが複合的に作用するといわれており<sup>6)</sup>、無機系アンカー材もこれらの複合作用により付着強度が向上するものと推測される。

### 4. まとめ

超速硬セメント系注入式あと施工アンカーについて、施工環境条件が及ぼす付着強度への影響について検討を行った。

- (1) 超速硬セメント系注入式アンカーの付着強度は、異形鉄筋 D13、コンクリート強度 24N/mm<sup>2</sup> において、付着強度は、25N/mm<sup>2</sup> 以上であり、5℃においても材齢 7 日で 20℃の材齢 7 日と同等の付着強度となった。
- (2) 埋込み長さが一定で穿孔深さを変化させたものに

ついて、穿孔深さが大きい方が付着強度は高くなる傾向が認められ、アンカー筋の埋込み長さより下の部分も付着強度に寄与していた。

- (3) コンクリートの乾燥状態が付着強度に及ぼす影響を確認したところ、20℃で乾燥させた試験においては、ドライアウト現象は確認されなかった。
- (4) コンクリートとアンカー材の界面のせん断強度測定を行い、水中で養生した試験体は、気中で養生した試験体に比べ同等もしくは若干高い値を示した。

### 参考文献

- 1) 寺村悟, 沢出稔, 秋山友昭, 丹羽亮, 松崎育弘: 加熱されたコンクリートの耐火性能評価とあと施工アンカーに関する研究 (その 1, 一面 3 時間加熱), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 691-692, 1994. 10
- 2) 豊田康二, 今西達也, 榎本浩之: 有機系あと施工アンカーを用いた耐震補強鉄筋コンクリート壁の耐火性能に関する実験, GBRC, Vol.34, No.2, pp.40-44, 2009.4
- 3) 安藤重裕ほか: 超速硬セメント系注入式あと施工アンカーの付着特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造IV, pp.201-202, 2012.9
- 4) 中野克彦, 松崎育弘, 杉山智昭: 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造IV, pp.149-150, 2009.8
- 5) 日本建築学会: 各種合成構造設計指針・同解説, 2010 改訂版, 日本建築学会, 2010, 11
- 6) 朴同天, 兼松学, 野口貴文: 垂直一せん断荷重を受ける断面修復材の付着強度に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No1, pp.1761-1766, 2004.8