

## あと施工アンカーの長期荷重強度に及ぼす施工不良の影響に関する研究

著者	松下 吉男, 香取 慶一, 平田 昭彦, 柴田 大樹
雑誌名	工業技術 : 東洋大学工業技術研究所報告
号	37
ページ	48-51
発行年	2015
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1060/00007628/">http://id.nii.ac.jp/1060/00007628/</a>



## あと施工アンカーの長期荷重強度に及ぼす施工不良の影響に関する研究

### Study on Effects of Miss-execution on Concrete Construction Anchor under Long Term Loading

松下 吉男\* 香取 慶一\* 平田 昭彦\*\* 柴田 大樹\*\*

#### 1. 背景・目的

建築の分野においてあと施工アンカーは、もともとは、自動販売機や設備機器の取り付けに用いられていたが、最近では耐震補強部材の取り付けや土木分野での利用も多い。

2012年12月2日に起きた中央自動車道笹子トンネルの天井板崩落事故では、天井板を吊り上げていたあと施工アンカーの施工不良が事故の主な原因とされている。これを受け、建築・土木分野で長期荷重を受けるあと施工アンカーの安全性に対する関心が高まっている。しかしながら、長期荷重を受けるあと施工アンカーの実験はほとんど行われていなかったため、今後の十分な検討が求められている。

本研究では、長期荷重下で大きな影響を与えるとされる施工不良に着目し、施工不良となる各種要因を再現する実験を行い、アンカーの健全施工に資する知見の獲得を目的とする。

#### 2. あと施工アンカーの概要

##### 2.1 あと施工アンカーの種類

あと施工アンカーは、完成したコンクリート躯体に穴を開けて取り付けるものである。固定のメカニズムから、大きく分けて金属系と接着系の2種類がある。本研究では、接着系アンカーに着目し、無機系アンカーと樹脂系アンカーを使用した。

##### 2.2 あと施工アンカーの施工

###### 2.2.1 健全な施工法

接着系アンカーの施工は、取り付けの鉄筋などの部品の長さや径に適した所定の工具で穴を開けた(穿孔)後で、接着剤(カプセル)を挿入し、ボルトなどを打ち込むか、ねじ込む。この後、所定の時間養生を行う。

###### 2.2.2 施工不良

接着系アンカーの施工不良としては、①無回転打設による接着剤の攪拌不足、②清掃不足によるコンクリート躯体との定着力の不足、③穿孔径異常、④穿孔長異常、⑤冠水などによる接着剤の加水分解、⑥使用する鉄筋などの選定ミス、⑦使用する鉄筋などの状態異常(発錆など)、⑧設計段階における計算ミス、⑨あと施工アンカーを打設するコンクリート躯体のひび割れ、⑩養生中の加力、⑪施工の向き、などが挙げられる。

無機系のカプセルに関しては、海水や汚水による吸水、吸水時間の超過や不足も含まれる。

#### 3. 実験

##### 3.1 アンカー打設時の施工不良を想定した単純引抜試験

本節では、施工不良として考えられる要因から攪拌不足、清掃不足、穿孔径異常、穿孔長異常、加水分解を取り上げ、「健全施工」、「無回転打設」、「プロアのみ(清掃なし)」、「穿孔径異常」、「穿孔長異常」、「冠水」の条件下で、アンカーの単純引抜実験を行った。実験に使用した鉄筋やアンカーの仕様と各々の施工方法や条件を表-1に示す。

表-1 アンカーの施工方法と条件(試験体一覧)

躯体	試験体No.	定着剤	鉄筋(SD345)		穿孔	打設方法	実際の穿孔	
			鉄筋径	先端形状				
①	1	セメント	D16	寸切り	φ20×160mm	手ハンマー	φ20×161mm	
	2						φ20×160mm	
	3						φ20×164mm	
	4						φ20×161mm	
	5						φ20×162mm	
	6	樹脂			斜め45°	φ19×130mm	ハンマードリル	φ19×132mm
	7							φ19×133mm
	8							φ19×134mm
	9							φ19×133mm
	10							φ19×132mm
	11							φ19×134mm
	12							φ19×132mm
②	1	セメント	D16	寸切り	φ20×160mm	手ハンマー	φ20×165mm	
	2						φ20×164mm	
	3	樹脂		斜め45°	φ19×130mm	ハンマードリル	φ19×135mm	
	4						φ19×133mm	
	5	セメント		寸切り	φ28×160mm	手ハンマー	φ28×162mm	
	6						φ28×160mm	
	7	樹脂		斜め45°	φ28×130mm	ハンマードリル	φ28×130mm	
	8						φ28×130mm	
	9	セメント		寸切り	φ20×80mm(5da)	手ハンマー	φ20×83mm	
	10						φ20×83mm	
	11	樹脂		斜め45°	φ19×80mm(5da)	ハンマードリル	φ19×81mm	
	12						φ19×80mm	
	13	セメント		寸切り	φ20×160mm	手ハンマー	φ20×161mm	
	14						φ20×164mm	
	15	樹脂		斜め45°	φ19×130mm	ハンマードリル	φ19×134mm	
	16						φ19×131mm	

使用した試験装置と2種類のアンカーを写真-1に示す。



写真-1 試験装置と各種アンカー



実験結果を表-2、図-1、図-2に示す。

健全施工においても施工不良においても、無機系カプセルの方が鉄筋の伸びる割合が大きく、拔出し量が少なかった。フロアのみと穿孔径異常は、健全施工と荷重、変位ともに近い結果を示した。無回転打設では、攪拌不足の影響により、耐力が非常に低い上、ほとんどが拔出しであった。穿孔長異常においては、無機系カプセルと樹脂系カプセルともに同じ程度の影響を受けたことが分かった。冠水においては、樹脂系カプセルの方が水による影響を受けやすく、拔出し量が多かった。

表-2 降伏点での荷重と変位

躯体	試験体No.	実際の穿孔	荷重(kN)	全体の変位(mm)	鉄筋の伸び量(mm)	拔出し量(mm)	
①	1	無機系カプセル①	φ20×161mm	77.83	0.30	0.04 (13%)	0.26 (87%)
	2	無機系カプセル②	φ20×160mm	78.52	0.24	0.04 (16%)	0.20 (84%)
	3	無機系カプセル③	φ20×164mm	76.65	0.23	0.04 (16%)	0.19 (84%)
	4	無機系カプセル④	φ20×161mm	77.43	0.32	0.04 (12%)	0.28 (88%)
	5	無機系カプセル⑤	φ20×162mm	77.33	0.19	0.04 (20%)	0.15 (80%)
	6	樹脂系カプセル①	φ19×132mm	75.56	0.34	0.04 (11%)	0.30 (89%)
	7	樹脂系カプセル②	φ19×133mm	75.15	0.57	0.04 (6%)	0.53 (94%)
	8	樹脂系カプセル③	φ19×134mm	75.96	0.36	0.04 (10%)	0.32 (90%)
	9	樹脂系カプセル④	φ19×133mm	76.05	0.30	0.04 (13%)	0.26 (87%)
	10	樹脂系カプセル⑤	φ19×132mm	77.83	0.39	0.04 (10%)	0.35 (90%)
	11	無回転打設(樹脂)	φ19×134mm	18.22	0.76	0.01 (1%)	0.75 (99%)
	12	無回転打設(樹脂)	φ19×132mm	10.44	1.19	0.01 (0.4%)	1.18 (99.6%)
②	1	フロアのみ(無機)	φ20×165mm	76.55	0.25	0.04 (15%)	0.21 (85%)
	2	フロアのみ(無機)	φ20×164mm	77.24	0.20	0.04 (20%)	0.16 (80%)
	3	フロアのみ(樹脂)	φ19×135mm	76.94	0.31	0.04 (13%)	0.27 (87%)
	4	フロアのみ(樹脂)	φ19×133mm	77.63	0.36	0.04 (11%)	0.32 (89%)
	5	穿孔径異常(無機)	φ28×162mm	76.94	0.32	0.04 (12%)	0.28 (88%)
	6	穿孔径異常(無機)	φ28×160mm	77.83	0.15	0.04 (25%)	0.11 (75%)
	7	穿孔径異常(樹脂)	φ28×130mm	66.30	0.30	0.03 (11%)	0.27 (89%)
	8	穿孔径異常(樹脂)	φ28×130mm	76.55	0.22	0.04 (17%)	0.18 (83%)
	9	穿孔長異常(無機)	φ20×83mm	53.20	0.43	0.03 (6%)	0.40 (94%)
	10	穿孔長異常(無機)	φ20×83mm	40.49	0.16	0.02 (12%)	0.14 (88%)
	11	穿孔長異常(樹脂)	φ19×81mm	66.60	0.37	0.03 (9%)	0.34 (91%)
	12	穿孔長異常(樹脂)	φ19×80mm	61.37	0.40	0.03 (8%)	0.37 (92%)
	13	冠水(無機)	φ20×161mm	77.43	0.40	0.04 (10%)	0.36 (90%)
	14	冠水(無機)	φ20×164mm	77.63	0.33	0.04 (12%)	0.29 (88%)
	15	冠水(樹脂)	φ19×134mm	75.76	0.65	0.04 (6%)	0.61 (94%)
	16	冠水(樹脂)	φ19×131mm	72.90	1.39	0.04 (3%)	1.35 (97%)

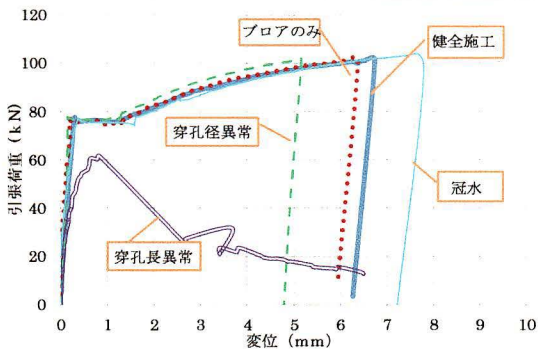


図-1 無機系カプセル

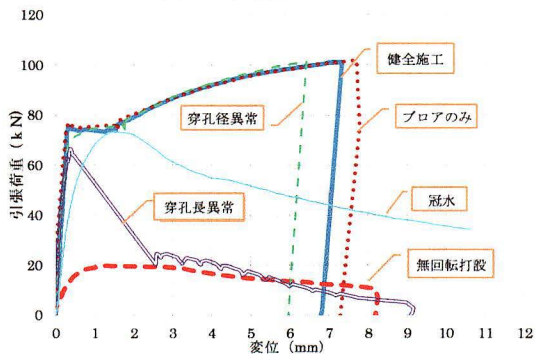


図-2 樹脂系カプセル

### 3. 2 ひび割れコンクリートに打設したアンカーの引抜試験

#### 3. 2. 1 試験概要

前節の実験に引き続き、本節の実験では、施工不良として考えられる要因から、アンカーを打設するコンクリート躯体のひび割れを取り上げた。すなわち、ひび割れ上あるいはひび割れ付近に打設したアンカーの引抜試験を行った。ひび割れは、鉄筋コンクリート梁試験体を作成した後、梁曲げによりひび割れを入れることで再現した。躯体の半分のひび割れにはエポキシ補修を施し、「健全施工」と「ひび割れ上」、「ひび割れ付近」の結果の違いに加え、エポキシ補修の有無における結果の違いについても検討できるようにした。また、ひび割れの幅や距離の違いについても検討、比較するものとした。

この実験では、接着系アンカーのうち、無機系カプセルを使用した。実験に使用した鉄筋や接着剤の仕様と各々の施工方法や条件を表-3に示す。

表-3 アンカーの施工方法と条件(試験体一覧)

試験体No.	種類	穿孔	定着剤	鉄筋(SD345)		打設方法	ひび割れ			アンカー使用量
				鉄筋径	先端形状		幅(mm)	ひび割れ	距離(mm)	
1	健全施工①	φ19.70×131mm	セメント	D16	寸切り	手ハンマ	—	—	100	1本弱
2	健全施工②	φ20.30×130mm					—	—	100	1本弱
3	健全施工③	φ20.04×130mm					—	—	100	1本弱
4	健全施工④	φ19.99×131mm					—	—	104	1本弱
5	ひび割れ上①	φ20.40×132mm	セメント	D16	寸切り	手ハンマ	2.00	—	105	1本弱
6	ひび割れ上②	φ20.17×134mm					2.50	—	110	1本弱
7	ひび割れ上③	φ20.85×131mm					0.85	—	100	1本弱
8	ひび割れ付近①	φ19.81×131mm					0.35	50	105	1本弱
9	ひび割れ付近②	φ19.86×131mm					1.80	46	110	1本弱
10	ひび割れ付近③	φ20.05×130mm					1.30	45	100	1本弱
11	ひび割れ上①	φ20.52×135mm					3.00	—	130	1本(施工直し)
12	ひび割れ上②	φ21.24×135mm					2.10	—	93	2本
13	ひび割れ上③	φ20.73×133mm					1.50	—	142	1本(施工直し)
14	ひび割れ付近①	φ20.81×131mm					0.5/0.2	30/20	52	1本
15	ひび割れ付近②	φ20.00×132mm	1.50	35	102	1本弱				
16	ひび割れ付近③	φ20.46×132mm	0.80	44	50	1本弱				
17	細いひび割れ上①	φ19.77×132mm	0.10	—	140	1本弱				
18	細いひび割れ上②	φ20.07×131mm	0.10	—	68	1本弱				

□ : エポキシ補修あり

#### 3. 2. 2 試験体

試験体は、幅200mm×せい300mm×長さ2000mmの細長い梁とした。コンクリートには、 $F_c=21\text{N/mm}^2$ の普通コンクリートを使用し、縦打ちで作成した。

梁の配筋は、主筋を2-D13とし、あばら筋は6φを100mmピッチとした。梁の配筋図を図-3に示す。

コンクリート打設から14日後に、この試験体に、曲げひび割れだけを入れるため、支点間隔を550mmとして4点曲げで梁曲げを行った。その際の最大ひび割れ幅は7.5mmだった。その後、躯体の左半分のひび割れにエポキシ補修を施した。

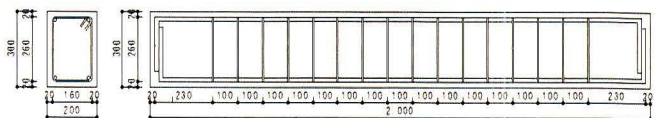


図-3 梁配筋図



ひび割れの状況とアンカーの打設位置を記したものを写真-2に示す。

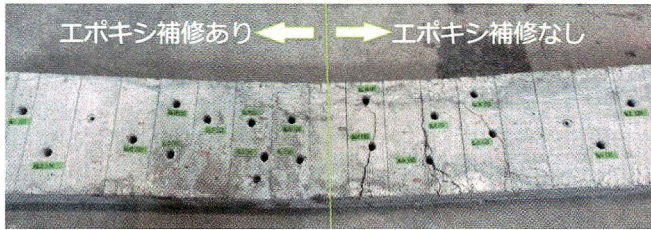


写真-2 ひび割れ状況と打設位置

### 3. 2. 3 打設方法

本節の実験では、穿孔長を 130mm として打設を行った。また、全てのアンカーにおいて、母材穿孔・孔内清掃・カプセル挿入・アンカー筋の埋め込みの順に従い、健全施工を行ったが、No.11 と No.13 に関しては、ひび割れ上のため施工が難しく、打設のし直しを行った。施工状況を写真-3に示す。



写真-3 施工状況

### 3. 2. 4 試験方法

アンカー打設から 11 日間養生後、コンクリート躯体をpushせず前節の実験と同様の加力装置を用いて引抜実験を行った。

鉄筋の伸び量や拔出し量に関しては、打設した鉄筋にコンクリート表面から 20mm の位置にひずみゲージと変位計を設置し計測した。これに加え、100mm のポンチを打つことによっても、鉄筋の伸び量の検出を試みた。

荷重に関しては、まず、鉄筋の設計長期荷重までの値を目安に計測した。長期荷重は事前に(1)式を用いて計算し、アンカー筋の弾性を維持するため、荷重がその値に達する直前に長期荷重に対する実験を終了した。

$$N = \sigma \cdot A = 16 \times 16 \times 3.14 \times 0.25 \times 345 \times 2/3 \div 46221 \text{ (N)} \quad (1)$$

次に、破壊における試験体同士の影響を考慮しつつ、試験体の破壊状態が確認できるまで荷重をかけ、可能な限り実験を行った。

### 3. 2. 5 長期荷重時の結果

実験によって得られた結果を計算値と比較するために、計算によって伸び量を求めた。計算値には(2)式を用い、実験値には(3)を用いた。

$$L' = \frac{P}{AE} \times L \quad (2)$$

$$\epsilon = \frac{L'}{L} \text{ より } L' = \epsilon L \quad (3)$$

以上の 2 つの式から、 $\frac{P}{AE} = \epsilon$  が成り立つといえるため、これ

を用いて計算値と実験値を比較した。

長期荷重時の実験結果を表-4と図-4に示す。

表-4 長期荷重時の実験結果一覧

試験体No.	種類	ひび割れ幅(mm)	距離(mm)		荷重(kN)	変位(mm)	ひずみ(%)		
			ひび割れ	躯体側面			実験値	計算値	
1	健全施工①	—	—	—	100	45.1	0	0.119	0.111
2	健全施工②	—	—	—	100	43.3	0	0.107	0.106
3	健全施工③	—	—	—	100	43.3	-0.003	0.107	0.106
4	健全施工④	—	—	—	104	44.5	0	0.111	0.109
5	ひび割れ上①	2.00	—	—	105	43.3	0	0.104	0.106
6	ひび割れ上②	2.50	—	—	110	43.1	0	0.117	0.106
7	ひび割れ上③	0.65	—	—	100	44.3	0	0.111	0.109
8	ひび割れ付近①	0.35	50	—	105	43.9	0	0.120	0.108
9	ひび割れ付近②	1.80	46	—	110	44.0	0	0.122	0.108
10	ひび割れ付近③	1.30	45	—	100	43.3	0	0.108	0.106
11	ひび割れ上①	3.00	—	—	130	43.9	0	0.111	0.108
12	ひび割れ上②	2.10	—	—	93	44.4	0	0.120	0.109
13	ひび割れ上③	1.50	—	—	142	42.8	0.005	0.132	0.105
14	ひび割れ付近①	0.5/0.2	30/20	—	52	43.4	0	0.108	0.107
15	ひび割れ付近②	1.50	35	—	102	42.0	0	0.112	0.103
16	ひび割れ付近③	0.80	44	—	50	42.2	0	0.123	0.104
17	細いひび割れ上①	0.10	—	—	140	42.2	0	0.111	0.104
18	細いひび割れ上②	0.10	—	—	68	42.5	0	0.094	0.104

■ : エポキシ補修あり

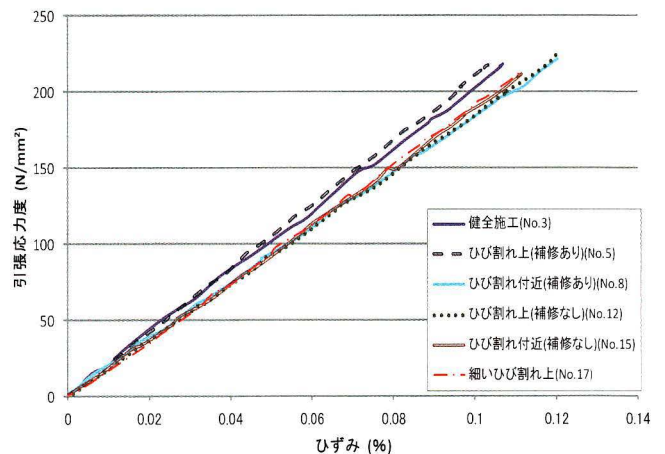


図-4 長期荷重時の各条件下の応力度-ひずみ関係

エポキシ補修を行ったひび割れ付近、エポキシ補修を行っていないひび割れ上、ひび割れ付近、細いひび割れ上に打設したアンカーは健全施工よりひずみが大きく、エポキシ補修を行ったひび割れ上のは、健全施工よりもひずみが小さかった。また、どの条件下でも応力度が約 225N/mm<sup>2</sup> に対し、ひずみが約 0.1~0.12% という結果となり、大きな差は生じなかった。

計算におけるひずみと実験によるひずみの比較に関しては、健全施工では最大でも 0.008% の誤差であったのに対し、施工不良箇所に打設したアンカーでは、最大で 0.027% と誤差の度合いが大きい上、ばらつきが生じた。



### 3. 2. 6 破壊荷重時の結果

破壊荷重時の実験結果を表-5 と図-5 と図-6 に示す。アンカーの耐力がひび割れ幅による影響を受けたことにより、打設した箇所ひび割れ幅が大きいほど、変位やひずみの値は小さくなった。

しかし、細いひび割れ上においては、健全施工と同等程度の結果が得られ、ひび割れによる影響はあまり受けていない。健全施工においても、ひずみが3%、変位が4mmを超えるとコーン状破壊を起こし、耐力が低下した。

表-5 破壊荷重時の実験結果一覧

試験体No.	種類	荷重(kN)	変位(mm)	ひずみ(%)	破壊パターン
2	健全施工②	89.6	2.60	3.141	コーン状破壊
3	健全施工③	56.7	0.20	0.141	コーン状破壊
4	健全施工④	92.3	4.26	3.416	付着破壊
5	ひび割れ上①	80.5	1.43	2.055	付着破壊
6	ひび割れ上②	90.0	3.35	3.423	付着破壊
10	ひび割れ付近③	76.3	0.61	0.191	コーン状破壊
11	ひび割れ上①	73.1	0.65	0.234	コーン状破壊
12	ひび割れ上②	77.6	1.30	1.391	コーン状破壊
13	ひび割れ上③	87.9	3.05	2.960	コーン状破壊
16	ひび割れ付近③	71.3	0.92	0.162	コーン状破壊
17	細いひび割れ上①	89.5	2.82	3.152	コーン状破壊

※No.1,7,8,9,14,15,18 は測定不能のため省略

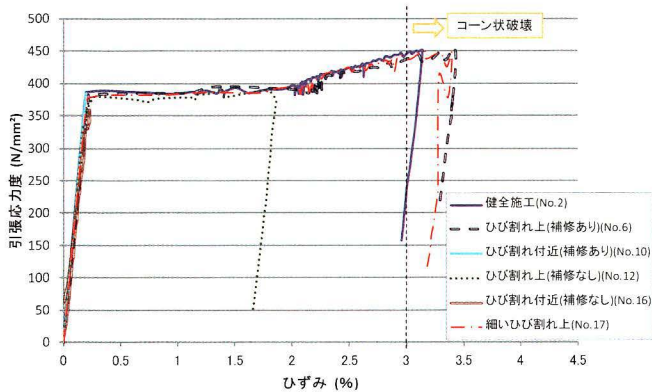


図-5 破壊荷重時の各条件下の応力度—ひずみ関係

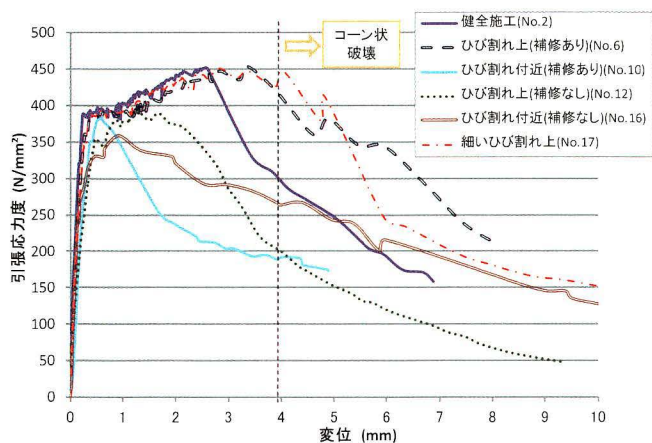


図-6 破壊荷重時の各条件下の応力度—変位関係

エポキシ補修を行ったひび割れ上と細いひび割れ上に打設したアンカーにおいては、健全施工と比べ、破壊後のひずみが0.4%程度、変位が1~2mm程度大きくなっている。

ひび割れ付近に打設したアンカーの応力が最大となった際のひずみと変位が他のものより小さかった。この理由として、躯体内部の見えないひび割れによる影響を受けたからだと考えられる。

### 4. 結び

今回の研究結果から以下のような知見が得られた。

- イ) 無機系カプセルの方が荷重に対する変位が少なく、樹脂系カプセルの方が施工不良に対するばらつきが生じやすい。
- ロ) 穿孔径異常では最大荷重にあまり違いがないのに対し、穿孔長異常では十分な耐力が発揮されないことから、穿孔の際は径よりも長さの方が重要であると考えられる。
- ハ) 無回転打設では耐力が非常に低いことから、攪拌不足による影響が大きいと考えられる。
- ニ) あと施工アンカーの打設に関しても、ひび割れにおけるエポキシ補修は有効である。
- ホ) ひび割れ付近に打設したアンカーは、長期荷重時では、ひび割れ幅よりひび割れからの距離の方が影響を受けやすい。これは、エポキシ補修の有無に関わらない。
- ヘ) ひび割れ上に打設したアンカーの耐力は、ひび割れ幅が大きいほど小さくなる。
- ト) 健全施工と大きな差を示さなかったものもあるが、耐力の発揮にばらつきが多いことから、施工不良が起きないように注意すべきである。

### 5. 今後の検討

以下の点を今後の検討課題として挙げたい。

- ・多数回に渡り、繰り返して力を受けるアンカーを想定した引抜試験を実施すべきである。
- ・実際の長期荷重下においては、クリープが生じるため、これについても考慮した実験の方法を検討し、実施すべきである。
- ・実験結果にばらつきが見られたため、試験体の数をさらに多くした実験を行い、結果の精度向上を図る必要がある。

本研究は、松下研卒業生の為貝恵美さんと田中寛子さんの卒業研究としてまとめたものであり、深く感謝の意を表す。

### 参考文献

- 1) 兼歳昌直：建築施工テキスト、井上書院、2002.4
- 2) 日本建築あと施工アンカー協会：あと施工アンカー技術資料、2009.1
- 3) 笹子トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会：トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会報告書、国土交通省、2013.6
- 4) 広沢雅也、松沢育弘：あと施工アンカー設計・施工読本、建築技術、2001.7
- 5) 日本建築あと施工アンカー協会：あと施工アンカー設計指針(案)・同解説、2005.5
- 6) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説、日本建築学会、2010.11