

## 論文 軽量コンクリートに対する接着系あと施工アンカーの実験的研究

片桐 太一<sup>\*1)</sup>・山本 泰稔<sup>\*2)</sup>・市橋 重勝<sup>\*3)</sup>・藤山 知繁<sup>\*4)</sup>

要旨:さまざまな荷重をコンクリート構造物に伝達するため、あるいは、コンクリート部材を相互に接合するために、あと施工アンカーは、広範囲に使用されている。

本論は、構造用に使われる軽量コンクリート2種を対象とした母材試験体中に、接着剤を用いて定着させた各サイズのアンカー鉄筋にせん断および引張の静的単調荷重を加え、強度と変形量を測定し、さらに、加力終局時のコンクリート試験体の破壊状態を記録している。なお、本実験的研究では、主として単体アンカーの基本的性状に対して述べ、群体アンカーは、正・負5回の水平加力の繰り返し実験を行っているが、実験記録の報告のみとしている。

キーワード:軽量コンクリート、あと施工アンカー、せん断耐力、引張耐力、耐震補強

### 1. はじめに

1963年容積地区制度が導入され高さ制限が廃止となり、また1964年10月には、建設省住宅局建築指導課通達第180号「人工軽量骨材を用いる軽量コンクリートの使用基準及び性能判定基準について」が公示されて以来、中高層建築物に軽量コンクリートが多く使用されるようになった。

しかしながら1995年1月に発生した兵庫県南部地震では、1981年の建築基準法施行令改正前の規定による建築物に多くの被害があり、軽量コンクリート造建築物もその例外ではない。

以来、建築物の耐震診断・耐震補強が、急速に実施されるようになり、これらの補強工法に、有機系の接着アンカーと金属系の改良型本体打込み式あと施工アンカーが採用されることが多くなった。

本実験では、接着系アンカーを対象としているが、あと施工アンカーの性能は、コンクリート強度、種類、直径、埋込み長さ、および

打設位置などにより、あと施工アンカーの耐力が決定されることは、普通コンクリートを対象とした実験的研究である程度知られているが、軽量コンクリートに対するあと施工アンカーの実験は極めて少ない。また、軽量コンクリートの性質は、普通コンクリートと比べ骨材の種類、調合などにより比重の差が生ずる。

以上に述べた理由により、耐震補強設計を前提とした軽量コンクリート2種中における接着系あと施工アンカーを用いたアンカー鉄筋の挙動に関する実験的研究を行う。

### 2. 単体実験パラメータ

異形鉄筋 JIS G3112 SD345 を機械加工した4種類のアンカー鉄筋 D13, D16, D19, D22, 合計 96 本を接着系あと施工アンカーにより母材コンクリート試験体中に固着し、せん断および引張試験を実施した。

実験のパラメータは、アンカー鉄筋の直径、有効埋込み長さ、およびへりあき寸法(S, E)とした。パラメータ組合せを表-1に示す。

\*1 (株)善設計 顧問(正会員) \*3 日本工業大学建築学科教授 工博(正会員)

\*2 芝浦工業大学工学部建築学科教授 工博(正会員) \*4 日本ヒルティ(株)Eng.

表-1 単体実験パラメータ

アンカー鉄筋	実験		有効埋込み長さ			打設位置	
	せん断	引張	5d	7d	10d	標準(S)	偏心(E)
D13	○	○	○	○	○	○	○
D16	○	○	○	○	○	○	○
D19	○	○	○	○	○	○	○
D22	○	○	○	○	○	○	○

注: D16の5dは偏心の実験なし

3. 記号と設計式

本論に用いる主な記号とあと施工アンカーの設計式は、次の通りとする。

Lc ; 軽量コンクリート2種

Fc ; 普通コンクリート

da ; アンカー鉄筋呼び(直径)

le ; 有効埋込み長さ(cm)

S ; 標準打設位置(mm)へりあき寸法(せん断 200, 引張 300)

E ; 偏心打設位置(mm)へりあき寸法(せん断, 引張 100)

Qp ; アンカー1本当りのせん断荷重(kN)

Qδ ; アンカー1本当りのせん断変位(mm)

Tp ; アンカー1本当りの引張荷重(kN)

Tδ ; アンカー1本当りの引張変位(mm)

Ac ; 有効水平投影面積(cm<sup>2</sup>)

Da ; 穴径(cm) la ; 穴あけ深さ(cm)

sQL ; せん断用アンカー鉄筋全長(cm)

sTL ; 引張用アンカー鉄筋全長(cm)

3-2. 設計式

$$Qa2 = 0.4 \sqrt{E_c} \cdot \sigma_B \cdot s_a e \quad \dots \text{参考文献 1)}$$

$$Ta2 = 0.75 \sqrt{\sigma_B} \cdot A_c \quad \dots \text{参考文献 1)}$$

$$A_c = l_e \cdot \pi (l_e + da)$$

$A_{c1} = A_c - A_{c2}$  ... 偏心の場合の有効水平投影面積

$$A_{c2} = (l_e^2 \cdot \pi \cdot 2\theta/360) - (l_e^2 \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta) \quad \dots \text{欠円部 ただし、} \theta = \cos E/l_e$$

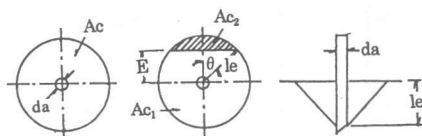


図-1 有効水平投影面積

4. 母材コンクリート試験体の製作

単体用母材コンクリート試験体は、軽量コンクリート2種とした目標圧縮強度 15MPa, 比重 1.7, スランプ 18cm, 大きさ 400×600×1200mm で 10 体製作した。

なお、試験体強度測定は、圧縮と割裂強度を測定している。

表-2に配合計画、表-3に強度試験測定結果を示し、図-2に試験体形状を示す。

表-2 軽量コンクリート配合計画

目標強度 (MPa)	スランプ (cm)	空気量 (%)	粗骨材最大寸法 (mm)	水結合材比 W/B (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位水量			単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
							水 W	セメント C	石粉 CaCO <sub>3</sub>	
15	18	4±1	15	5	85	51	178	209	-	17.1

表-3 軽量コンクリート2種試験結果

設計強度 (MPa)	打設時実測スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (MPa)		割裂強度 (MPa)		ヤング係数 (10 <sup>4</sup> GPa)	実験時強度	
			標準	封緘	標準	封緘		封緘	圧縮強度 (MPa)
15	17.0	4.6	7.98(7) 13.00(28)	9.80(14) 11.86(28)	0.78(7) 1.22(28)	1.05(14) 0.79(28)	10(14) 12(28)	16.89 (90)	0.90 (90)

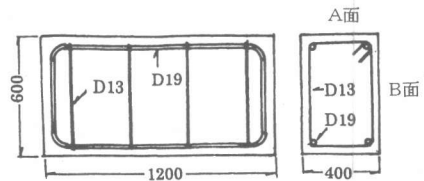


図-2 単体母材コンクリート試験体

5. 接着系あと施工アンカーとアンカー鉄筋  
接着系あと施工アンカーは、接着剤とアンカー鉄筋の組合せとなっている。

本実験に用いた接着剤は有機系のビニルウレタン樹脂でプラスチックフォイルのカプセルに挿入されている。アンカー鉄筋は異形鉄筋 JIS G3112 SD345 を機械加工し、アンカー鉄筋としている。

図-3に接着系アンカーの構造を示し、図-4にアンカー鉄筋の形状を示す。また表-4には、アンカー鉄筋と施工寸法を示し、表-5には、アンカー鉄筋の機械的性質を示す。

## 6. 接着系あと施工アンカーの打設

### 6.1 墨出し

母材コンクリート試験体面をA面とB面に区別し、A面はせん断・B面は引張実験用としている。

A面のせん断標準(S)は、試験体長辺方向平行に200mm・偏心(E)100mmとし、ピッチは小口より300mmの直列である。

B面の引張標準(S)は、試験体長辺方向に300mm・偏心(E)100mm、ピッチはせん断試験と同じにしている。

図-5にアンカー打設位置を示す。

### 6.2 アンカー鉄筋の打設

表-4に各アンカー鉄筋の施工寸法を示した通りに穿孔し、接着系アンカーによりアンカー鉄筋を固着する。

接着系あと施工アンカーの養生は24時間とし、完全に接着剤が硬化した後、実験を実施している。

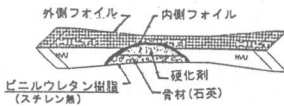


図-3 接着剤(HVU)

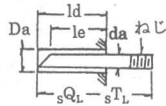


図-4 アンカー鉄筋

表-4 アンカー鉄筋と施工寸法(mm)

da	le	Da	ld	sQL	sTL	ねじ
D13	6.5	1.5	7.8	21	100	M12
	9.1		10.4	24	105	
	13.0		14.3	29	110	
D16	8.0	2.0	9.6	21.1	100	M16
	11.2		12.8	24.3	105	
	16.0		17.6	29.1	110	
D19	13.3	2.5	15.2	26.7	105	W 3/4
	19.0		20.9	32.4	110	
D22	15.4	2.8	17.6	29.1	110	W 7/8
	22.0		24.2	35.7	115	

表-5 アンカー鉄筋機械的性質

da	公称直径(mm)	公称断面(cm <sup>2</sup> )	公称周長(cm)	降伏点強度(Mpa)	最大強度(Mpa)	破断伸び(%)
D13	12.7	1.267	4.0	378.3	570.4	28.3
D16	15.9	1.986	5.0	391.0	595.8	23.3
D19	19.1	2.865	6.0	375.3	567.4	23.9
D22	22.2	3.871	7.0	376.3	570.9	24.9

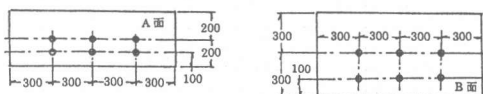


図-5 アンカー鉄筋打設位置

## 7. 加力装置および測定方法

### 7.1 単体せん断加力装置

既存部材(柱・梁)の材軸方向にせん断力を加えても連続的に試験が行えるよう、また、シャーリングを交換することにより多種直径のアンカー鉄筋にも用いることができる加力装置を考案した。

反力はコンクリート試験体の周囲を鉄骨により固定し反力フレームとした。

実験を行うアンカー鉄筋はシャープブロックにアンカー鉄筋を装着し試験体面とシャープブロック間に厚さ1mmのテフロンシート2枚をはり、ナットにより手締めで固定した。

図-6にせん断加力装置、概要図を示す。

### 7.2 測定

母材コンクリート試験体を直立させ、材軸方向の単調加力としている。

荷重はオイルジャッキにより加え、ロードセルで検出し同時に変位を検測し、いずれの値もデータロガーで計測した。

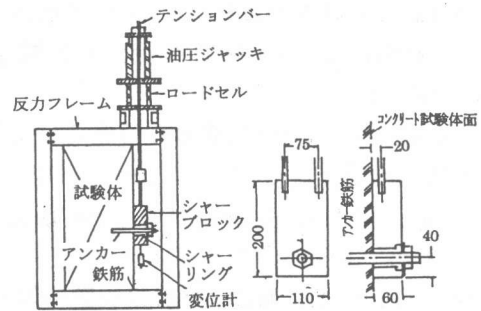


図-6 単体せん断加力装置

### 7.3 単体引張加力装置

母材コンクリート試験体面に加力時の支反力がアンカー鉄筋の試験に影響しないよう、鋼板による反力プレートをアンカー鉄筋を中心とした正方形交点に配置し、その上に鉄骨を組み立て反力台としている。

図-7に単体引張加力装置概要図を示す。

## 7.4 測定

母材コンクリート試験体面に対し鉛直方向の単調加力としている。

荷重はオイルジャッキにより載荷し、ロードセルで検出し同時に変位計2台により変位を計測し平均値を変位量とし、いずれの値もデータログで計測している。

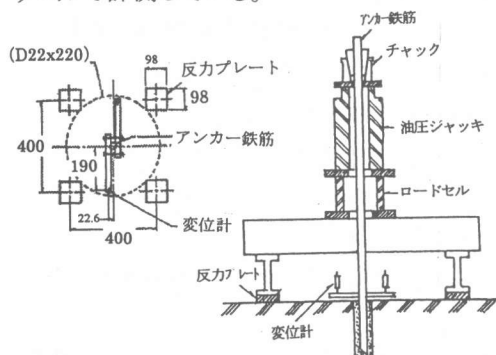


図-7 単体引張加力装置

## 8. 単体接着系アンカー実験結果

### 8.1 単体試験

表-6に軽量コンクリート2種圧縮強度15MPa、比重1.7を母材コンクリート試験体とした、単体接着系あと施工アンカーの実験結果一覧を示す。

表には、各アンカー鉄筋の有効埋込み長さとして打設位置をパラメータとした、せん断および引張最大荷重と変位量の測定値を小数第2位で丸めて示した。

図-8には、せん断および引張実験時の母材試験体最終ひび割れを目視により観察した一例を示す。

図-9には、せん断および引張試験の荷重

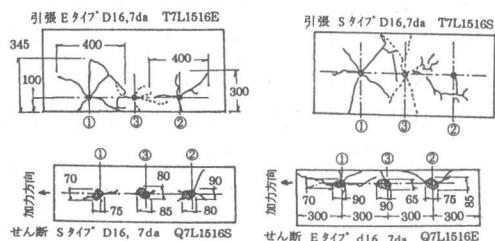


図-8 単体せん断・引張ひび割れ

変位曲線をデータログで計測した結果の一例を示す。

表-6 単体実験結果

da le	$Q_p$ (kN)	$Q_s$ (mm)	$T_p$ (kN)	$T_s$ (mm)
D13(S) 6.5	30.0	15.3	18.0	0.4
	25.2	19.0	17.7	0.8
	27.6	17.1	10.8	0.6
平均	27.6	17.0	15.5	0.6
D13(S) 9.1	34.4	19.1	27.5	0.4
	38.0	20.1	20.5	1.8
	39.6	19.2	21.8	1.5
平均	37.3	19.5	23.3	1.3
D13(S) 13.0	43.0	20.1	35.7	1.9
	43.2	20.0	35.8	2.6
	44.0	20.0	34.4	3.2
平均	43.4	20.0	35.3	2.6
D16(S) 8.0	42.0	13.3	28.4	0.5
	42.2	15.2	23.9	0.6
	45.4	16.1	24.0	0.4
平均	43.2	14.9	25.4	0.5
D16(S) 11.2	65.1	19.9	51.7	1.1
	70.6	20.1	52.8	0.9
	62.8	19.8	38.9	0.4
平均	66.2	20.0	47.7	0.8
D16(E) 11.2	38.3	18.2	43.2	1.0
	44.6	13.0	42.7	0.5
	41.3	12.1	40.5	0.8
平均	41.4	14.4	42.0	0.8
D16(S) 16.0	70.2	20.1	64.8	4.8
	67.7	20.1	81.9	3.5
	68.1	20.1	74.3	3.8
平均	68.7	20.1	73.7	4.1
D16(E) 16.0	52.4	16.0	54.7	0.5
	54.1	18.0	60.4	1.1
	35.3	15.1	59.6	0.8
平均	47.3	16.4	58.2	0.8
D19(S) 13.3	63.3	16.1	40.4	0.3
	71.4	16.2	60.4	0.5
	57.9	16.2	64.1	0.4
平均	64.2	16.2	55.0	0.4
D19(E) 13.3	50.3	16.3	61.8	1.4
	51.1	11.2	55.6	0.6
	43.7	17.2	49.3	1.5
平均	48.7	14.9	55.6	1.1
D19(S) 19.0	93.1	20.0	102.3	1.0
	82.0	20.0	105.5	0.5
	88.8	20.0	94.1	0.7
平均	88.0	20.0	100.6	0.7
D19(E) 19.0	56.6	20.1	77.1	1.3
	63.6	12.0	72.7	1.0
	58.8	16.0	83.5	1.8
平均	60.0	16.1	77.8	1.4
D22(S) 15.4	94.2	15.6	68.0	0.6
	100.4	19.1	93.4	1.3
	92.8	20.0	67.0	0.7
平均	95.8	13.6	76.1	0.9
D22(E) 15.4	59.6	11.1	61.7	1.8
	64.3	9.1	66.2	1.2
	62.6	19.2	54.2	0.9
平均	62.3	13.1	60.7	1.3
D22(S) 22.0	100.9	20.0	83.3	1.3
	101.2	20.0	113.3	0.2
	102.8	20.0	115.5	2.8
平均	101.6	20.0	104.0	1.4
D22(E) 22.0	76.5	17.1	112.3	1.8
	76.5	20.0	119.1	1.5
	69.2	20.1	111.9	2.4
平均	74.1	19.1	114.4	1.9

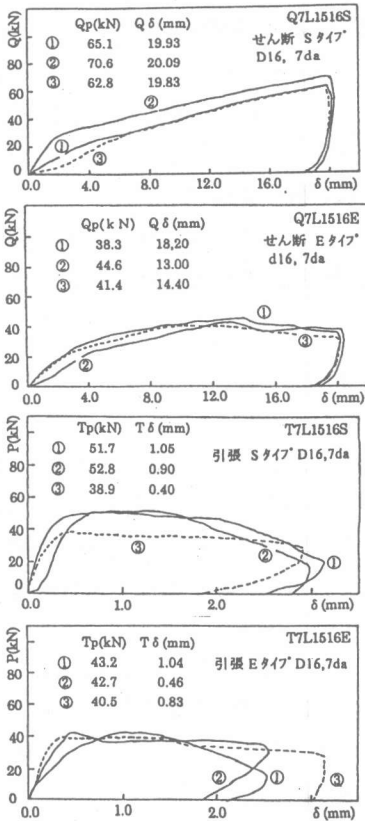


図-9 単体せん断・引張荷重変位曲線

### 9. 群体接着系あと施工アンカー試験

図-10 に試験体の概念図を示し、製作にあたっては建防協設計指針<sup>1)</sup>に基づき4体製作した。

図-11に加力装置図を示す。加力は正・負5回の水平加力繰り返しとしている。

図-12に群体せん断試験の荷重-変位曲線と最大せん断荷重を示し、図-13にひび割れ状況の一例を示し、さらに、表-7には群体せん断実験結果を示す。

偏心の試験体は標準の試験体に比べて、初期の挙動に大きな差はないものの、変形が大きくなっても強度はあがらなくなり、明らかに偏心の影響を受ける。また、ひび割れの状況は標準の場合にモルタル部分の損傷が破損の原因となっている。また普通コンクリートの場合と比べて、せん断耐力は約 77%ぐらい下がるようである。

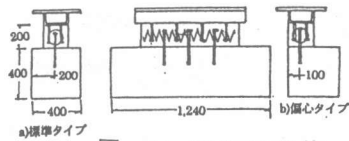


図-10 群体試験体

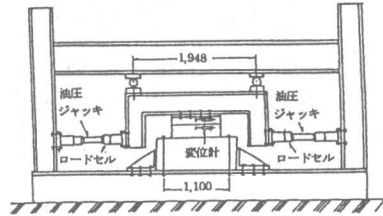


図-11 群体せん断加力装置

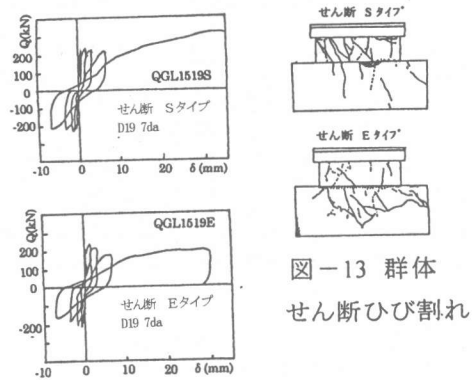


図-12 群体せん断荷重変位曲線

表-7 群体実験結果

試験体名	最大荷重 (kN)	備考
QGL1519S	240	1回目 正側
QGL1519E	239	3回目 正側
QGL1522S	298	5回目 正側
QGL1522E	313	4回目 負側

### 10. 単体接着系アンカー実験結果の検討

#### 10.1 単体せん断試験

表-8に実験値と計算値さらに、同強度の普通コンクリートとの比較をした結果、偏心位置に打設した D22 以外は大きな値となり、普通コンクリートとの比較は、D19(S 位置、10da)をのぞき低い値を示した。

図-14には、荷重とアンカー鉄筋断面積の相関関係および設計式によるアンカー耐力を示した。

表-8 単体せん断耐力検討

da	le	実験値と計算値比較			軽量と普通の比較	
		実験値	計算値	突/計	普通	軽/普
D13 (S)	6.5	27.6	—	1.31	—	—
	9.1	37.3	21.1	1.77	—	—
	13.0	43.4	—	2.06	—	—
D16 (S)	8.0	43.2	—	1.31	—	—
	11.2	66.2	33.1	2.00	76.0	0.87
	16.0	68.7	—	2.08	70.0	0.98
D16 (E)	11.2	41.4	—	1.25	61.0	0.68
	16.0	47.3	33.1	1.43	73.0	0.65
	—	—	—	—	—	—
D19 (S)	13.3	64.2	—	1.35	67.0	0.96
	19.0	88.0	47.7	1.86	80.0	1.10
	—	—	—	—	—	—
D19 (E)	13.3	48.7	—	1.03	61.0	0.80
	19.0	60.0	47.7	1.27	70.0	0.86
	—	—	—	—	—	—
D22 (S)	15.4	95.8	—	1.49	108.0	0.90
	22.0	101.6	64.5	1.58	111.0	0.92
	—	—	—	—	—	—
D22 (E)	15.4	62.3	—	0.97	85.0	0.73
	22.0	74.1	64.5	1.15	96.0	0.77
	—	—	—	—	—	—

表-9 単体引張耐力検討

da	le	実験値と計算値比較			軽量と普通の比較		Ac
		実験値	計算値	突/計	普通	軽/普	
D13 (S)	6.5	15.5	19.4	0.80	—	—	159
	9.1	23.3	36.2	0.64	—	—	297
	13.0	35.3	71.2	0.50	—	—	584
D16 (S)	8.0	25.4	29.4	0.86	—	—	241
	11.2	47.7	54.9	0.87	71.8	0.66	450
	16.0	73.7	108.0	0.68	91.6	0.80	885
D16 (E)	11.2	42.0	54.1	0.78	53.7	0.78	442
	16.0	58.2	95.1	0.61	77.3	0.75	780
	—	—	—	—	—	—	—
D19 (S)	13.3	55.0	77.5	0.71	82.8	0.66	635
	19.0	100.6	152.3	0.66	120.9	0.83	1248
	—	—	—	—	—	—	—
D19 (E)	13.3	55.6	72.7	0.76	65.1	0.85	598
	19.0	77.8	127.1	0.61	93.1	0.84	1042
	—	—	—	—	—	—	—
D22 (S)	15.4	76.1	103.8	0.73	107.7	0.71	851
	22.0	104.0	204.1	0.51	138.8	0.75	1673
	—	—	—	—	—	—	—
D22 (E)	15.4	80.7	93.2	0.65	87.1	0.70	764
	22.0	114.4	163.0	0.70	137.6	0.83	1336
	—	—	—	—	—	—	—

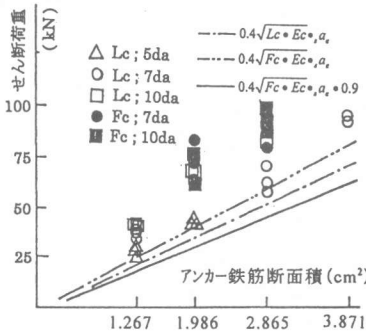


図-14 せん断荷重と鉄筋断面積

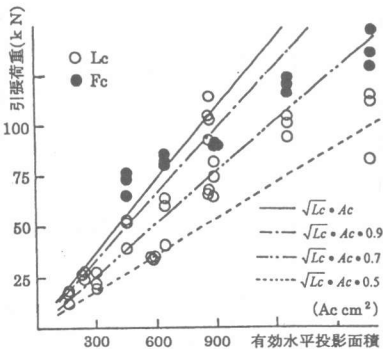


図-15 引張荷重と有効水平投影面積

## 10.2 単体引張試験

表-9では、せん断試験と同じ比較を行った結果、すべての実験値は、施工係数を除いた設計式より低い値を示し、また普通コンクリートとの比較も低い値を示した。

図-15には荷重と有効水平投影面積の相関関係と設計式によるアンカー耐力を示した。

## 11. 考察

接着系アンカーは、せん断・引張耐力ともに普通コンクリートと同じ挙動を示す。ただし、軽量コンクリートは一般に、圧縮強度が同じでも、骨材、配合などにより比重などの性質<sup>3)</sup>が異なることにより、アンカーの基本的性状にも影響があると推測する。

軽量コンクリート中に打設するあと施工アンカーは、比重などに対する影響係数を考慮する必要がある。

## 12. 結論

今回軽量コンクリート2種中に打設した接着系あと施工アンカーの挙動に関する実験を体系的に行った結果から次の結論をえた。

- 1) 接着系のアンカーは、普通コンクリート中に打設されたアンカーと同じ挙動を示すが、同強度の軽量コンクリート中ではせん断や引張力の外力に対し抵抗力が低い。
- 2) 在来から使用されている(財)日本建築防災協会<sup>1)</sup>に示された設計式と対応させたとき、設計式より低くなる場合がある。
- 3) 耐震補強に使用する接着系アンカーは、埋込み長さを考慮すると、D16、D19のアンカー鉄筋が比較的せん断や引張力の外力に対し有効に働く。

## 参考文献

- 1) (財)日本建築防災協会編 耐震改修設計指針・同解説 p. 30 p.31
- 2) 浜田稔著 軽量コンクリート構造 丸善 1956
- 3) 平賀謙一 篠沢和久著 軽量コンクリートの施工 丸善 昭和35年4月