

論文 低強度コンクリート既存鉄筋コンクリート建物のあと施工アンカーの引張・せん断に関する現地載荷試験

根口 百世*1・南 宏一*2

要旨: 圧縮強度 13.5N/mm² 未満の低強度コンクリート既存建物にあと施工アンカーを打設し、現地載荷試験を実施し、耐力および剛性の検討を行った。その結果、既往の普通強度コンクリートに対して提案されている耐力の評価式は、低強度コンクリートに対して適用した場合でも、引張耐力およびせん断耐力を安全に評価できることが示された。また、低強度コンクリートであっても十分な剛性を有していることが示された。

キーワード: 低強度コンクリート、あと施工アンカー、既存建物、引張試験、せん断試験、現地載荷試験

1. はじめに

近年、圧縮強度 13.5N/mm² 未満の低強度コンクリートであると判断された建物であっても、耐震補強が望まれる場合が生じているが、文献 1) では、低強度コンクリート建物は適用範囲外とされているため、低強度コンクリートの材料特性および既往の耐震補強工法の有効性を実験的に確認することは極めて重要である。

低強度コンクリートの耐震補強の可否は、対象建物から採取されたコンクリートコアの圧縮試験を行い、応力度-ひずみ度関係を調べ、その力学的性質から判断される。耐震補強が可能と判断された低強度コンクリート建物の耐震補強にあと施工アンカーを用いる場合には、普通強度コンクリート建物と同様に、現地載荷試験による設計耐力の検証試験が必須であるが、この試験においては、通常は設計耐力が確認されると除荷されるため、変形性能は不明なままである。また、低強度コンクリートに対するあと施工アンカーの適応性に関しては、いくつかの実験室における実験研究によって確認されているが、実際に耐震補強が計画された建物における現地載荷試験を行い、耐力および変形性能を確認された例はほとんどないという状況である。

本研究では、低強度コンクリートであるが耐震補強が可能であると判断された既存学校校舎 5 校において、その建物の補強設計において実際に使用される接着系あと施工アンカーを施工し、引張およびせん断に関する現地載荷試験を行い、耐力および変形性能について検討することを目的とする。

2. 試験方法

表-1 は、接着系あと施工アンカー現地載荷試験を行った 19 本の柱部材のコンクリートおよび使用されたアンカー筋について示したものである。19 本の柱部材では、**写真-1** のように、同一面で引張およびせん断試験を 1

か所ずつ実施した。試験面は仕上げ材を除去し、躯体コンクリートに 5mm 厚程度の均しモルタルを施している。

2.1 材料

(1) コンクリート

表-1 に示されるコンクリートの圧縮強度およびヤング係数は、既存建物から採取されたコンクリートコアの圧縮試験によって得られたものである。応力度-ひずみ度関係の例を図-1 (a) に示す。ひずみ度はコンプレッソメータで測定されており、図中の実線は実建物から採取されたコンクリートコアの応力度-ひずみ度関係を示し、圧縮強度が同程度の実験室で製造された低強度コンクリートの応力度-ひずみ度関係を破線で示している。

表-1 の値は、コンクリートコアを採取した部材と同一部材にあと施工アンカーを施工した場合は、個々のコンクリートコアによる圧縮強度およびヤング係数の値を示し、コンクリートコアを採取した部材以外に、あと施工アンカーを施工した場合は、その階のコンクリートコアによる圧縮強度およびヤング係数の平均値から標準偏差の 1/2 を減じた値を示している。

(2) アンカー筋

アンカー筋には、M20 および D19 を使用し、アンカー筋の引張試験による降伏強度および引張強さを表-1 に示し、応力度-ひずみ度関係の例を図-1 (b) に示す。全試験片がカプセル方式の接着系アンカーで打設され、有効埋め込み深さは、耐震補強設計者の意向を反映したものとなっており、引張試験では 8d または 12d、せん断試験では 8d, 10d および 12d である。

2.2 試験装置

筆者らは、本試験以前に、既存の試験装置を用いた現地載荷試験を行ったが、引張試験装置はコーン状破壊が生じた場合に予測される破壊面の内側に反力が生じるような装置であった。また、せん断試験装置は、アンカー筋に曲げとせん断変形が生じるように加力される装置で

*1 高知工業高等学校 教諭 博士 (工学) (正会員)

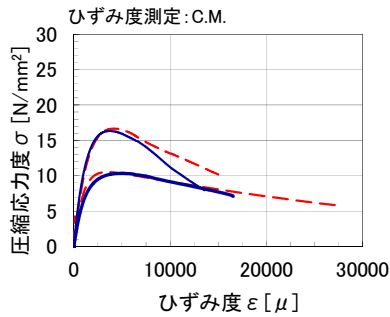
*2 福山大学 名誉教授 工博 (名誉会員)

表-1 使用材料

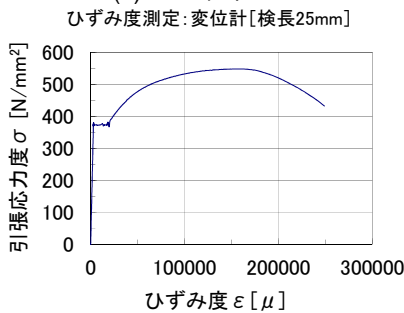
試験 No.	コンクリート		アンカー筋				
	圧縮強度 [N/mm ²]	ヤング係数 [10 ⁴ N/mm ²]	仕様	降伏強度 [N/mm ²]	引張強さ [N/mm ²]	有効埋め込み深さ	
						引張 [mm]	せん断 [mm]
No.1	10.81	0.98	M20	359	465	160(8d)	160(8d)
No.2	10.81	0.98	M20	359	465	160(8d)	160(8d)
No.3	10.81	0.98	M20	359	465	160(8d)	160(8d)
No.4	10.81	0.98	D19	377	571	152(8d)	152(8d)
No.5	10.81	0.98	D19	377	571	152(8d)	152(8d)
No.6	10.81	0.98	D19	377	571	152(8d)	152(8d)
No.7	12.95	1.71	D19	388	600	228(12d)	190(10d)
No.8	9.95	1.71	D19	388	600	228(12d)	190(10d)
No.9	11.70	1.71	D19	388	600	228(12d)	190(10d)
No.10	10.80	1.16	D19	388	600	228(12d)	190(10d)
No.11	13.20	1.16	D19	388	600	228(12d)	190(10d)
No.12	12.00	1.16	D19	388	600	228(12d)	190(10d)
No.13	12.66	1.22	D19	401	586	228(12d)	228(12d)
No.14	12.82	1.37	D19	401	586	228(12d)	228(12d)
No.15	15.11	1.32	D19	401	586	228(12d)	228(12d)
No.16	13.74	1.01	D19	374	549	228(12d)	190(10d)
No.17	16.23	1.26	D19	374	549	228(12d)	190(10d)
No.18	12.71	1.17	D19	374	549	228(12d)	190(10d)
No.19	12.71	1.17	D19	374	549	228(12d)	190(10d)



写真-1 アンカーの打設状況



(a) コンクリート



(b) アンカー筋 [D19, SSD345]

図-1 応力度-ひずみ度関係の例

あった。このような試験装置による試験結果の信頼性は決して高いとはいえないため、引張試験装置はコーン状破壊面を押さえつけないような設計を行う必要がある、

せん断試験装置はせん断力のみが作用するように設計されることが必要であるといえる。上記の問題を解消するために、図-2 に示すように、本試験における引張試験装置は、コーン状破壊面を押さえつけないように設計され、せん断試験装置は、純せん断が伝達できるように十分な剛性をもった装置を製作した。写真-2 は、試験装置の取り付け状況を示したものである。

2.3 荷重方法

引張試験およびせん断試験とも、荷重と変位の測定を行った。引張試験においては、コンクリート表面から20mm の位置におけるアンカー筋の伸び量を変位量として測定した。せん断試験においてはせん断力によるアンカー筋のずれを変位量として測定した。

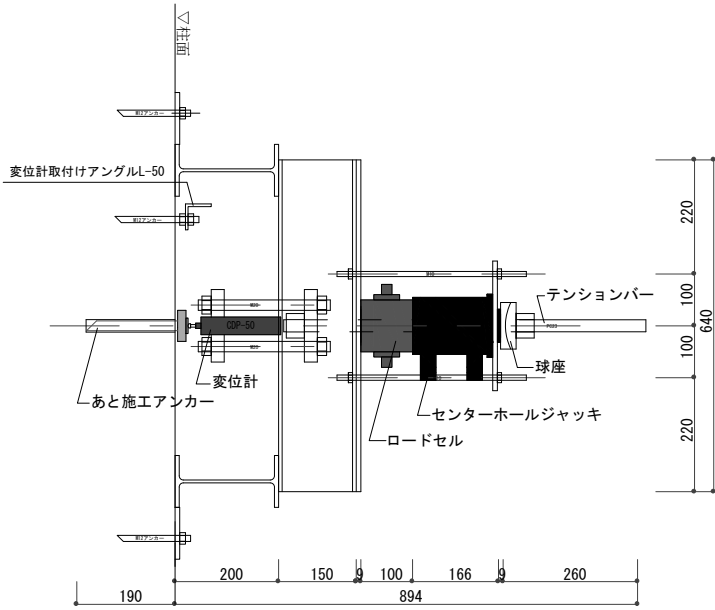
試験は、アンカー筋の破断が生じた時点で終了するか、十分に耐力および変形が確認された時点で除荷した。

3. 試験結果

3.1 荷重-変形関係

図-3 は、引張試験およびせん断試験によって得られた荷重-変形関係の一例である。

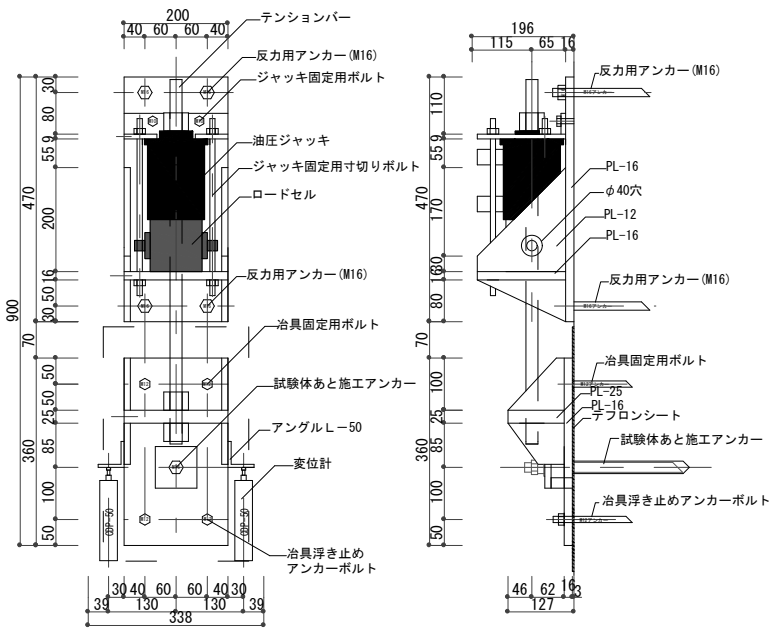
表-2 に、引張試験およびせん断試験結果を示す。表



(a) 引張試験装置



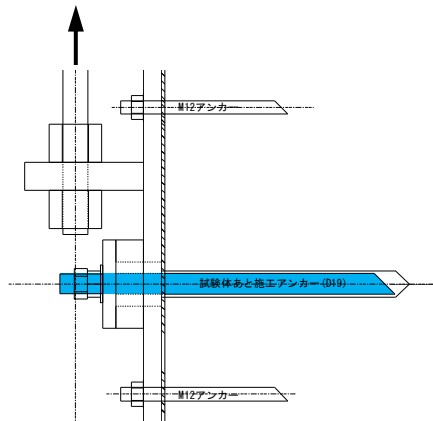
(a) 引張試験装置



(b) せん断試験装置



(b) せん断試験装置



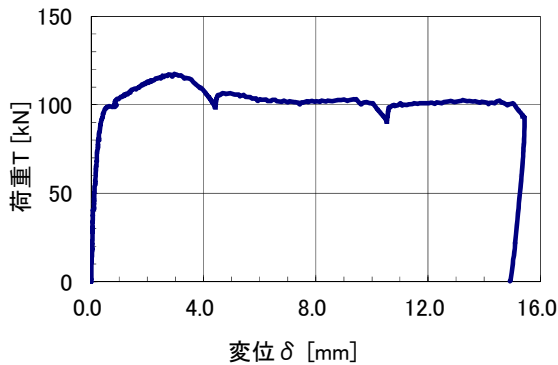
(c) せん断試験装置詳細
図-2 試験装置

写真-2 試験装置の取り付け状況

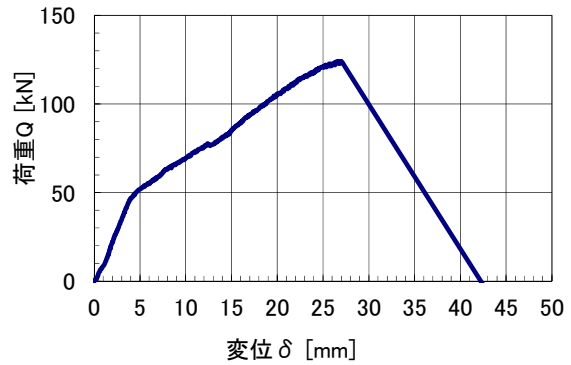
表-2 試験結果

試験 No.	引張							せん断					
	計算値				実験値			計算値			実験値		
	T _{cc} [kN]	T _{cb} [kN]	T _{mu} [kN]	T _a [kN]	T _{max} [kN]	δ ₀ [mm]	T _{1.12} [kN]	Q _{mc} [kN]	Q _{mu} [kN]	Q _a [kN]	Q _{max} [kN]	δ ₀ [mm]	Q _{17.54} [kN]
No.1	69.91	72.14	96.75	69.91	92.00	1.71	89.67	31.89	65.77	31.89	67.17	17.73	31.89
No.2	69.91	72.14	96.75	69.91	87.00	1.49	81.00	31.89	65.77	31.89	69.17	17.54	31.89
No.3	69.91	72.14	96.75	69.91	91.50	1.45	87.50	31.89	65.77	31.89	80.83	21.22	31.89
No.4	63.10	65.10	119.02	63.10	94.83	1.12	94.83	37.35	94.61	37.35	98.00	28.04	37.35
No.5	63.10	65.10	119.02	63.10	97.50	1.38	95.33	37.35	94.61	37.35	92.83	28.13	37.35
No.6	63.10	65.10	119.02	63.10	103.00	2.11	99.33	37.35	94.61	37.35	89.67	27.99	37.35
No.7	149.59	106.85	122.49	106.85	117.44	2.96	104.37	53.99	99.42	53.99	124.13	26.61	53.99
No.8	131.15	93.68	122.49	93.68	153.86	11.82	102.90	47.34	99.42	47.34	105.19	28.16	47.34
No.9	142.21	101.58	122.49	101.58	119.40	4.46	101.92	51.33	99.42	51.33	112.86	27.93	51.33
No.10	136.63	97.60	122.49	97.60	115.80	4.25	96.37	40.58	99.42	40.58	111.56	28.11	40.58
No.11	151.06	107.90	122.49	107.90	130.99	3.97	106.49	44.86	99.42	44.86	121.19	28.22	44.86
No.12	144.03	102.88	122.49	102.88	79.22	0.26	-	42.77	99.42	42.77	130.18	27.89	42.77
No.13	147.93	105.67	126.60	105.67	144.22	16.35	94.73	45.12	97.10	45.12	132.79	28.01	45.12
No.14	148.87	106.33	126.60	106.33	146.67	14.63	99.47	48.11	97.10	48.11	130.01	21.32	48.11
No.15	161.62	115.44	126.60	115.44	117.44	5.65	90.32	51.27	97.10	51.27	114.50	21.13	51.27
No.16	154.09	110.06	118.07	110.06	124.79	5.89	97.02	42.76	90.97	42.76	119.23	28.97	42.76
No.17	167.50	119.64	118.07	118.07	146.51	12.99	102.08	51.91	90.97	51.91	116.95	22.68	51.91
No.18	148.20	105.86	118.07	105.86	141.77	11.72	98.98	44.26	90.97	44.26	115.31	28.71	44.26
No.19	148.20	105.86	118.07	105.86	145.86	10.16	103.72	44.26	90.97	44.26	117.11	26.07	44.26

注) T_{cc} : コーン状破壊で定まる引張耐力, T_{cb} : 付着破壊で定まる引張耐力, T_{mu} : アンカー筋の引張破断で定まる引張耐力, T_a : 引張耐力で T_a = min(T_{cc}, T_{cb}, T_{mu}), T_{max} : 実験時最大荷重, δ₀ : 引張またはせん断実験時における最大荷重時の変位量, T_{1.12} : 変位 1.12mm 時の荷重, Q_{mc} : 母材コンクリートの支圧破壊で定まるせん断耐力, Q_{mu} : アンカー筋のせん断破断で定まるせん断耐力, Q_a : せん断耐力で Q_a = min(Q_{mc}, Q_{mu}), Q_{max} : 実験時最大荷重, Q_{17.54} : 変位 17.54mm 時の荷重



(a) 引張試験



(b) せん断試験

図-3 荷重-変形関係

中の T_{1.12} および Q_{17.54} は、それぞれ変位 1.12mm および 17.54mm の時の荷重を示したものである。これらの変位は、全試験体中の最大荷重時の変位の最小値に対する荷重を示したものである。また、No.12 の引張試験における最大荷重は、試験装置に固定するためにアンカー筋の先端に切ったネジ部の破断が生じたため、0.26mm で実験を終了した。

4. 耐力および剛性の検討

低強度コンクリートに対するあと施工アンカーの性状については、JCI 中国支部に設置され、2013年3月に活動を終了した「低強度コンクリート特別研究委員会」において実験的に検討されている²⁾。文献1)では、あと施工アンカーの耐力の言及に止まっているため、本論では、剛性の評価がなされている日本建築あと施工アンカー協会 [以下、JCAA という] の製品認証における要求性能

に基づいて²⁾、引張およびせん断に対する耐力と剛性の検討を行う。

4.1 引張耐力および引張剛性

(1) 引張耐力

引張耐力 T_a は、以下の(a)~(c)の3つの状態の最小値によって決定される。すなわち、

$$T_a = \min(T_{cc}, T_{cb}, T_{mu}) \quad (1)$$

(a) コーン状破壊で定まる引張耐力 T_{cc} [N]

$$T_{cc} = 0.235\sqrt{\sigma_B} \cdot A_C \quad (2)$$

ここに、

σ_B : 試験体(母材)の圧縮強度 [N/mm²]

A_C : コーン状破壊面の有効水平投影面積 [mm²]

$$A_C = \pi \cdot \ell_e (\ell_e + d_0) \quad (3)$$

ただし、

ℓ_e : アンカー筋の有効埋込み深さ、

$$\ell_e = L - d_0 \quad (4)$$

L : アンカー筋の埋込み深さ [mm]

d_0 : アンカー筋径 [mm]

(b) 付着破壊で定まる引張耐力 T_{cb} [N]

$$T_{cb} = \tau_a \cdot \pi \cdot d_0 \cdot \ell_e \quad (5)$$

ここに、

τ_a : 接着系アンカーの付着強度、

$$\tau_a = 10\sqrt{\sigma_B/21} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (6)$$

(c) アンカー筋の引張破断で定まる引張耐力 T_{mu} [N]

$$T_{mu} = \sigma_u \cdot a_0 \quad (7)$$

ここに、

σ_u : アンカー筋の素材の材料強度

$$\sigma_u = 1.1\sigma_y \quad [\text{N/mm}^2] \quad (8)$$

σ_y : アンカー筋の規格降伏点 [N/mm²]

a_0 : アンカー筋の公称断面積 [mm²]

上記の方法によって求められた引張耐力を計算値として表-2に示す。本論では、 σ_B には表-1に示すコンクリートの圧縮強度を用い、 σ_u は式(8)ではなく、表-1に示すアンカー筋の引張強さを用いて計算を行った。

図-4は、既往の評価式に基づく引張耐力の計算値と実験値を比較したものである。引張試験における最大値は、No.12を除いて、いずれも計算値を上回っており、安全側となっている。

(2) 引張剛性

引張剛性の検討方法について、JCAAによる手法を用いて、以下の2つの引張耐力計算値における変位量がそれぞれの値以下であることと示されている。

$$\delta_{T1} \leq 0.3[\text{mm}] \quad (9)$$

$$\delta_{T2} \leq 1.0[\text{mm}] \quad (10)$$

ここに、

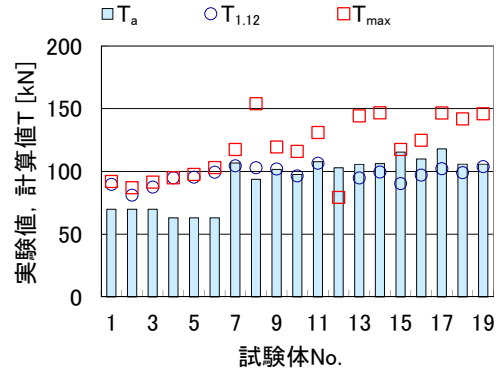
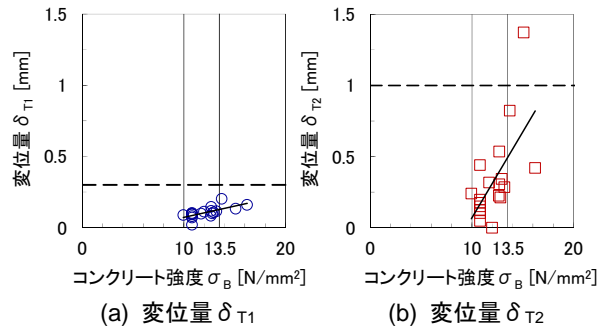


図-4 引張耐力の検討



(a) 変位量 δ_{T1}

(b) 変位量 δ_{T2}

図-5 引張剛性の検討

$$\delta_{T1} : \min\left(\frac{2}{3}T_{my}, 0.4T_{cc}, 0.4T_{cb}\right) \text{ に対応する変位量}$$

$$\delta_{T2} : \min(T_{my}, 0.6T_{cc}) \text{ に対応する変位量}$$

T_{my} : アンカー筋の降伏引張耐力、 $T_{my} = \sigma_y \cdot a_0$ [N]

σ_y : アンカー筋の規格降伏点 [N/mm²]

a_0 : アンカー筋の公称断面積 [mm²]

なお、本論においては、 σ_y はアンカー筋の材料試験結果を用いて T_{my} の算定を行った。

図-5は、引張剛性の検討に用いられる δ_{T1} および δ_{T2} を縦軸にとり、コンクリート強度を横軸に取ったものである。いずれも基準となる値よりも小さい変位量であり、十分な剛性を有しているといえる。また、コンクリート強度が大きくなると変位量も大きくなる傾向が示された。

4.2 せん断耐力およびせん断剛性

(1) せん断耐力

せん断耐力 Q_a は、以下の(a)および(b)の2つの状態の最小値によって決定される。すなわち、

$$Q_a = \min(Q_{mc}, Q_{mu}) \quad (11)$$

(a) 母材コンクリートの支圧破壊で定まる

せん断耐力 Q_{mc} [N]

$$Q_{mc} = 0.4\sqrt{E_c \cdot \sigma_B} \cdot s \cdot a_0 \quad (12)$$

$$\text{ただし、} 500 \leq \sqrt{E_c \cdot \sigma_B} \leq 900 \quad [\text{N/mm}^2] \quad (13)$$

ここに、

E_c : 母材コンクリートのヤング係数 [N/mm²]

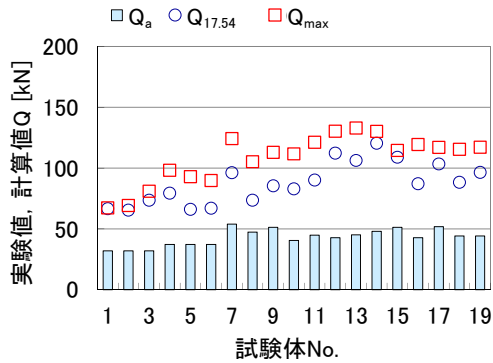


図-6 せん断耐力の検討

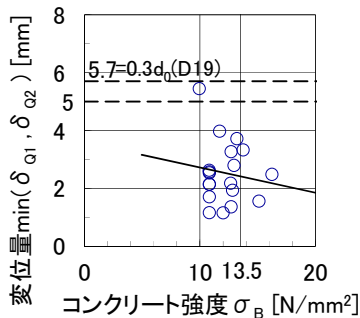


図-7 せん断剛性の検討

s_{a0} : アンカー筋の公称断面積 [mm²]

- (b) アンカー筋のせん断破壊で定まる
せん断耐力 Q_{mu} [N]

$$Q_{mu} = (m\sigma_u / \sqrt{3}) \cdot s_{a0} \quad (14)$$

ここに、

$m\sigma_u$: アンカー筋の素材の規格引張強さまたは
保証引張強さ [N/mm²]

上記の方法によって求められたせん断耐力を計算値として表-2に示す。本論では、 σ_B には表-1に示すコンクリートの圧縮強度を用い、 $m\sigma_u$ には、表-1に示すアンカー筋の引張強さを用いて計算を行った。また、式(12)の適用については、式(13)の制限があるが、本論中の試験体は、 $\sqrt{E_c \cdot \sigma_B}$ の値は325.4~470.3 N/mm²の範囲にあり、式(13)は満足されていない。しかしながら、既往の評価式を低強度コンクリート部材に拡張可能かどうかということを検討するために、式(13)を外挿して計算の実施を行った。

図-6は、せん断耐力の計算値と実験値を比較したものである。せん断試験における最大値は、いずれも計算値を上回っており、安全側となっており、さらに、引張耐力の場合に比して、より安全側に評価されていることが示された。

(2) せん断剛性

せん断剛性は、 $0.6Q_{mc}$ または $0.6Q_{mu}$ における変位量が、5.0 mmまたは $0.3d_0$ 以下であることを確認す

ることで判断される。すなわち、式(15)を満足すれば良いということとなる。

$$\min(\delta_{Q1}, \delta_{Q2}) \leq \max(5.0, 0.3d_0) \text{ [mm]} \quad (15)$$

ここに、

δ_{Q1} : $0.6Q_{mc}$ に対応する変位量

δ_{Q2} : $0.6Q_{mu}$ に対応する変位量

d_0 : アンカー筋の呼び径 [mm]

図-7は、せん断剛性の検討に用いられる δ_{Q1} および δ_{Q2} の小さい方の値を縦軸にとり、コンクリート強度を横軸に取ったものである。いずれも基準となる値よりも小さい変位量であり、十分な剛性を有しているといえる。また、せん断剛性については、コンクリート強度と変位量に相関性はあまりないといえる。

5. まとめ

低強度コンクリートにあと施工アンカーを施工し、現地載荷試験を行うことで、以下の知見が得られた。

- (1) 低強度コンクリートにあと施工アンカーを施工した場合の引張耐力およびせん断耐力は、既往の評価式による耐力よりも大きく、設計耐力は安全側に評価されることが示された。
- (2) 低強度コンクリート部材に施工されたあと施工アンカーでも、引張剛性およびせん断剛性は、十分に有していることが示され、引張剛性はコンクリート強度と正の相関性があることが示された。
- (3) 現地載荷試験においては、目的に応じて適切な試験装置を用いる必要があり、耐力だけでなく変形性能の確認を行うことが重要である。
- (4) 普通コンクリート強度を対象とした既往の評価式に用いられる各値の持つ意味をさらに検討することは、低強度コンクリート部材に対するより適切な評価を行うために重要なことといえる。

謝辞

本研究で用いた載荷装置の製作にあたっては、藤井稔己氏(福山大学大学院博士課程、工務店梁山泊)にご協力いただきました。また、多数の関係者各位のご協力のもとで試験が実施されました。ここに記して、深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) (財)日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針同解説，2001.1
- 2) (社)日本コンクリート工学協会中国支部：低強度コンクリートに関する特別研究委員会 報告書，pp.133-158，2009.2