

説明資料(9) 軽量コンクリートを用いた既存 RC 造建物への適用に関する実験

1. はじめに

本実験の目的は、既存 RC 造建物のコンクリートが軽量コンクリートである場合に対し、本工法を適用することの妥当性を確認することである。

本実験では、接合鋼板、あと施工アンカー、既存梁を模擬したアンカー併用接着接合部の要素試験体を製作し、その接合面にせん断加力試験を行うことで、既存 RC 部に軽量コンクリートが用いられている場合のアンカー併用接着接合部の破壊性状、最大耐力を確認する。

2. 試験計画

2.1 試験体

試験体一覧を表 2.1、試験体の形状寸法を図 2.1、既存 RC 部の配筋および形状寸法を図 2.2 に示す。実験因子は、表 2.1 に示すように、既存 RC 部コンクリートの目標強度、アンカー筋比であり、試験体数は 5 体である。

なお、材料手配の都合上、軽量コンクリートは 1 種（粗骨材のみ軽量骨材）を用いた。

表 2.1 試験体一覧

試験体	実験因子					$p_a \cdot \sigma_{ay}$ (N/mm^2)
	コンクリート 種別	F_{c1} (N/mm^2)	アンカー筋			
			材質, 径	本数	p_a (%)	
L21-2	軽量 1種	21	SD390 D19	2	0.57	2.23
L21-3				3	0.86	3.35
L21-6				6	1.72	6.70
L30-2		30		2	0.57	2.23
L30-3				3	0.86	3.35

(注) 1) F_{c1} : 既存部コンクリートの目標圧縮強度

2) $p_a = \Sigma a_a / A_b$: アンカー筋比、 Σa_a : アンカー筋全断面積、 $A_b = 200mm \times 500mm$: 接着面積

3) σ_{ay} : アンカー筋の降伏強度、 $\sigma_{ay} = 390N/mm^2$

2.2 使用材料

2.2.1 既存 RC 部

既存 RC 部に用いたコンクリートの配合を表 2.2 に、材料試験結果を表 2.3 に示す。

既存 RC 部のコンクリートの目標強度は、 $F_{c1}=21$ 、 30N/mm^2 とし、主筋には D22(SD345)、横補強筋には D10(SD295A) を用いた。

表 2.2 コンクリートの配合

コンクリート種別	目標強度 F_{c1} (N/mm^2)	水セメント比 (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	セメント量 (N) (kg/m^3)	単位水量 (kg/m^3)	細骨材 (kg/m^3)	粗骨材 (kg/m^3)	細骨材率 (%)
軽量1種	21	71	15	275	195	957	370	56.0
	30	59	15	329	194	835	411	50.0

コンクリート種別	目標強度 F_{c1} (N/mm^2)	打設時の実測値				
		混和剤 (kg/m^3)	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 ($^{\circ}\text{C}$)	フロー値 (cm)
軽量1種	21	2.75	17.0	4.6	16	30.0×29.5
	30	3.29	21.0	4.2	16	37.0×36.5

注) 各使用材料の種類、製造所および産地

セメント (N) : 普通ポルトランドセメント (麻生セメント(株)製)

細骨材 : 海砂 (佐賀県小川島産)

粗骨材 : 人工軽量骨材 (太平洋アサノライト)

混和剤 : AE減水剤 標準形 (I 種) ・チューポールEX60

表 2.3 コンクリートの材料試験結果

コンクリート種別	F_{c1} (N/mm^2)	使用試験体	σ_B (N/mm^2)	ε_{co} ($\times 10^{-3}$)	E_c (kN/mm^2)	σ_t (N/mm^2)
軽量1種	21	L21-2	25.2	2.40	17.8	2.06
		L21-3				
		L21-6				
	30	L30-2	30.0	2.69	17.8	2.60
		L30-3				

F_{c1} : 目標圧縮強度、 σ_B : 圧縮強度、 ε_{co} : σ_B 時ひずみ、

E_c : ヤング係数、 σ_t : 引張強度 (各3体の平均値)

2.2.2 補強工事部

アンカー筋母材の材料試験結果を表 2.4 に示す。アンカー筋母材には D19(SD390) を用いた。補強工事に用いたあと施工アンカーには、日本デコラックス (株) のケミカルアンカーRX-19EN ($\phi 19 \times 102\text{mm}$) を、接着用エポキシ樹脂にはコニシ (株) の E2300S を、シール材にはコニシ (株) の E2370MS をそれぞれ用いた。

表 2.4 アンカー筋母材の材料試験結果

呼び名	鋼種	使用試験体	σ_{sy}^{**} (N/mm^2)	σ_{su} (N/mm^2)	ε_{sy} ($\times 10^{-3}$)	伸び (%)
D19	SD390	全試験体	437	566	2.13	23

σ_{sy} : 降伏点、 σ_{su} : 引張強さ、 ε_{sy} : 降伏ひずみ (各3本の平均値)

** : 降伏点は、0.2%オフセット耐力を示す。

2.3 試験体製作

試験体製作の状況を写真2に示す。試験体の製作は、以下の手順で行った。

- ①既存 RC 部の接着範囲表面をビシャンハンマーで目粗しを行う。
- ②あと施工アンカーを打設する。
- ③シール工を行う。
- ④接合鋼板を設置する。
- ⑤エポキシ樹脂を注入する。

目粗し作業において、既存 RC 部の接着範囲表面全面をはつり取った結果、目粗し深さは最大 5mm 程度となった。エポキシ樹脂の注入時においては、既存 RC 部と接合鋼板の間から 6 方向にパイプを出して角部の一か所から注入を行い、他の全てのパイプからエポキシ樹脂が溢れ出したことを確認した。



(a) ①目粗し作業



(b) ②あと施工アンカー打設



(c) ③シール工事



(d) ④接合鋼板設置⑤エポキシ樹脂注入

写真2 試験体製作状況

3. 試験方法

3.1 荷重方法

実験装置を図 3.1 に示す。実験は、既存 RC 部側面にピンを介して反力を取り、試験体接合鋼板と加力治具鋼板とを高力ボルトで緊結した上で、油圧ジャッキを用いて既存部上面にせん断力 Q を加力した。荷重履歴は単調押し切りとした。なお、3.2 節に示す水平ずれ変形量 δ_s が 40mm 程度となった時点で荷重を終了した。

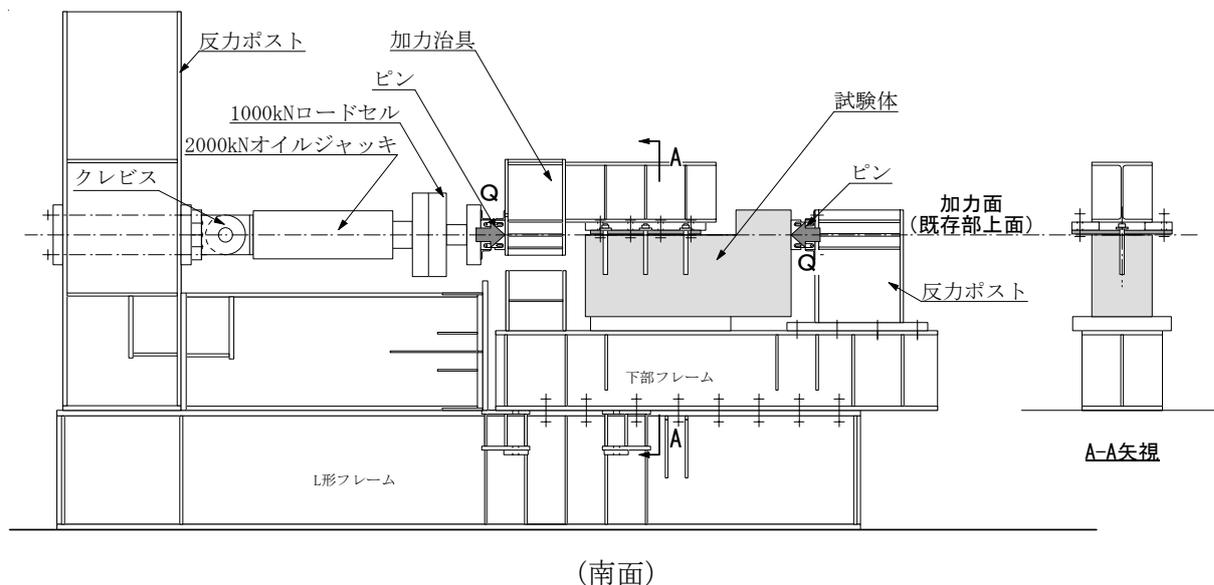


図 3.1 実験装置

3.2 計測方法

変位測定位置を図 3.2 に示す。測定項目は接合鋼板と既存 RC 部との水平ずれ変形量を DT1～DT2、開き量を DT3～DT6 で測定した。水平ずれ変形量 δ_s は以下の式で算定した。

$$\delta_s = -(D1 + D2) / 2$$

Di : 変位計 DTi の読み (スピンドルの押込み方向を正)

注) 1. 図中のDTiは変位計番号を表す。

変位計	型式	感度	非直線性	F. S.
DT1～DT6	CDP-25	$500 \times 10^{-6} / \text{mm}$	0.1% F. S.	25mm

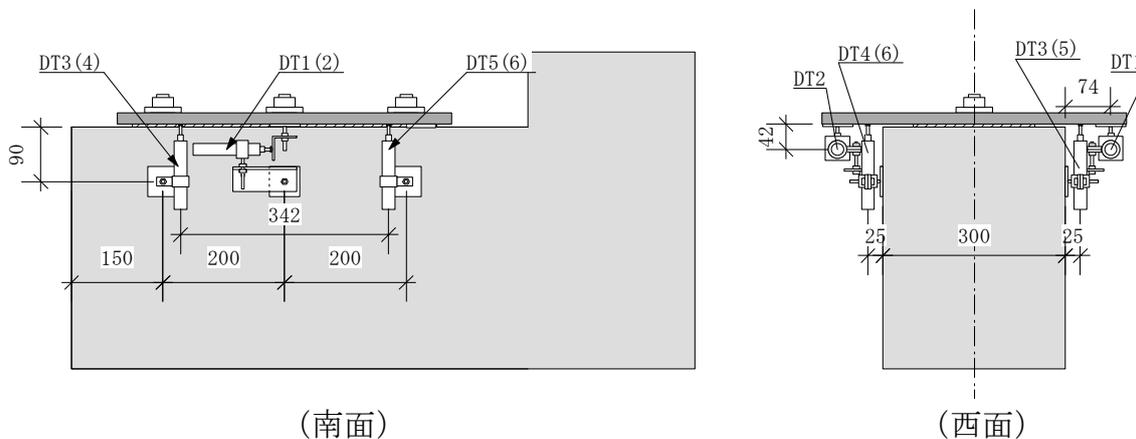


図 3.2 変位測定位置

4. 実験結果

各試験体のせん断応力度 $b\tau_j$ —水平ずれ変形量 δ_s 関係を図 4.1 に、 $\delta_s=2\text{mm}$ 時の各試験体の状況を写真 4.1 に、各試験体に共通して見られた主な破壊状況を写真 4.2 に、試験終了後の接着面表面の状況を写真 4.3 に、各試験体の試験終了後の状況を写真 4.4 に示す。 $b\tau_j$ はせん断力 Q を接着面積 Ab で除したせん断応力度を示す。写真 4.3 の既存 RC 部の表面状況は、接合鋼板を取り除き、表面を清掃した状況を示している。

図 4.1 中には各試験体の最大せん断応力度 τ_{\max} が発生した時点を○で示した。

(1) $\delta_s=2\text{mm}$ までの破壊状況

図 4.1 に示すように、各試験体共に既存 RC 部と接合鋼板がパチパチという音を伴い剥離し始め、接着面全面が剥離するとともに、最大せん断応力度 τ_{\max} に達した。写真 4.1 に示すように、L21-6 を除いて、 $\delta_s=2\text{mm}$ 時には、既存 RC 部に顕著な損傷は見られなかった。L21-6 は、 $\delta_s=0.72\text{mm}$ 時に τ_{\max} に達し、その後、 $\delta_s=2\text{mm}$ 時にアンカー筋位置付近に水平・鉛直方向のひび割れが生じた。

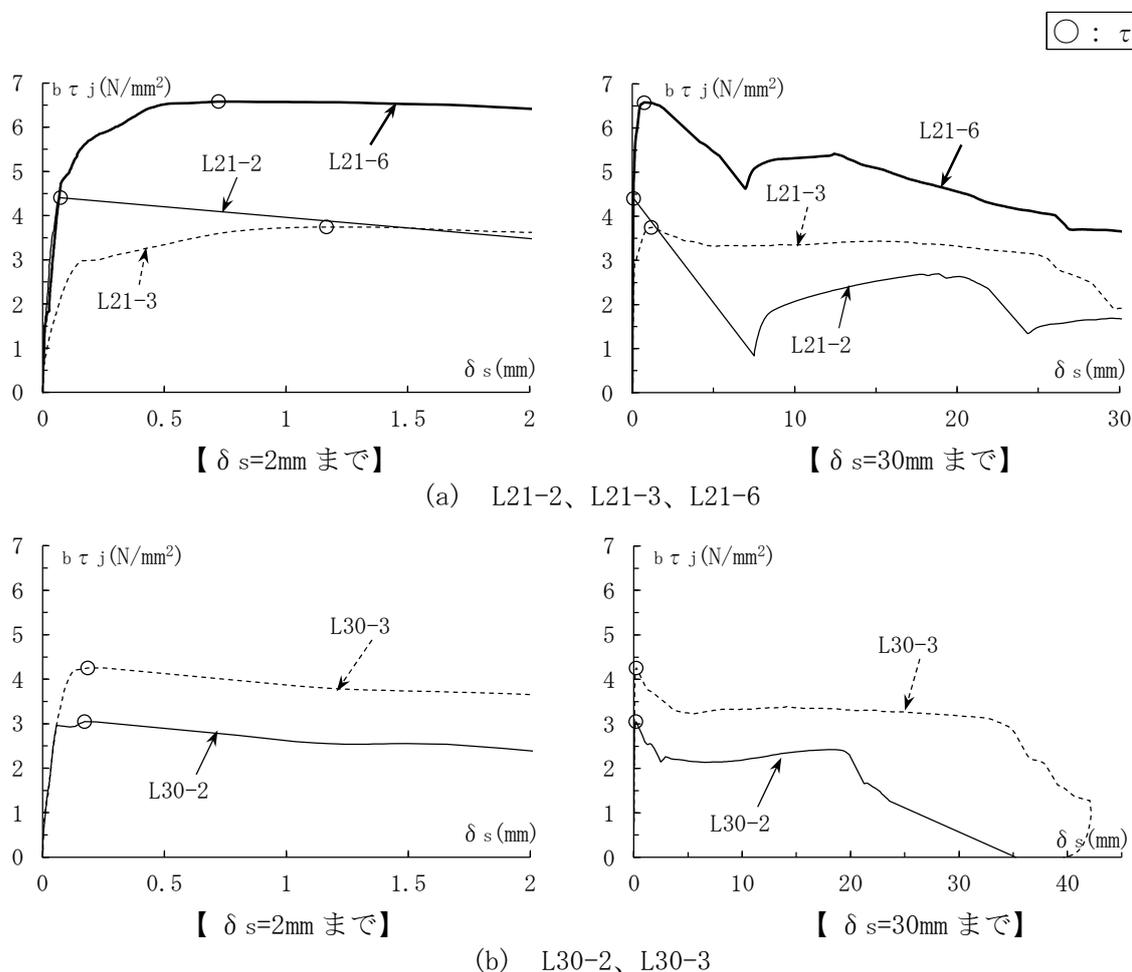
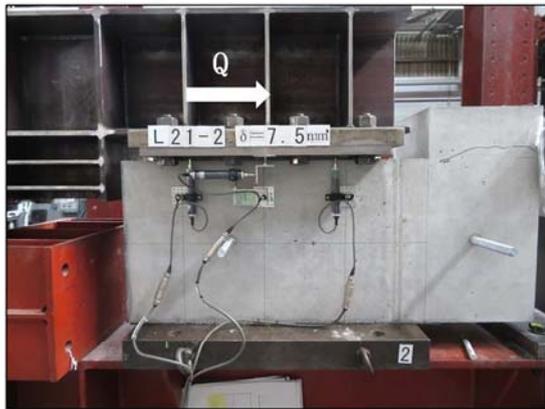


図 4.1 $b\tau_j$ — δ_s 関係



(a) L21-2*



(b) L21-3

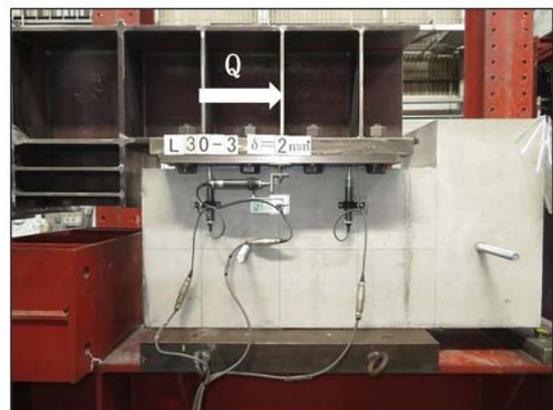


(c) L21-6

※L21-2 は、 δ_s が 2mm に到達する前に変位が急増したため、急増後の $\delta_s=7.5\text{mm}$ 時の状況を示す。



(d) L30-2



(e) L30-3

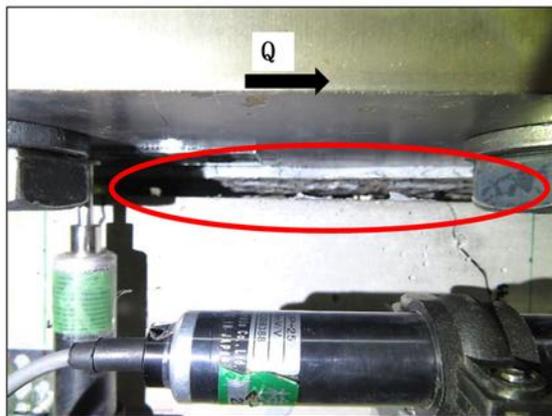
写真 4.1 試験時の状況 ($\delta_s=2\text{mm}$ 時)

(2) $\delta s=2\text{mm}$ 以降の最終破壊状況

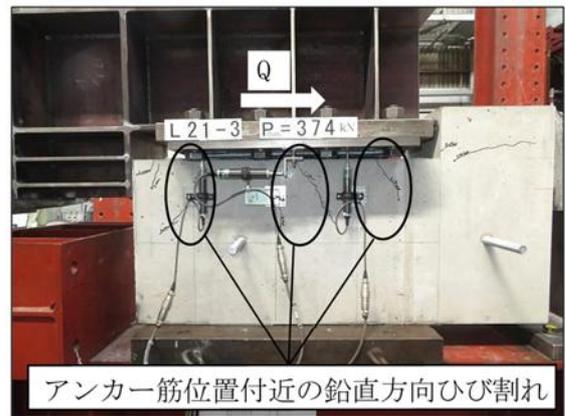
$\delta s=2\text{mm}$ 以降、L30-2 を除いて写真 4.2(b)に示すように、アンカー筋位置付近の鉛直方向ひび割れが生じた。その後、各試験体共にアンカー筋の破断を伴い耐力が減少し、最終変形に至った。

試験終了後には、各試験体共に写真 4.2(c), (d)に示すように、アンカー筋の破断もしくは顕著なダボ変形が確認された。また、既存 RC 部の接着面には、写真 4.3(a), (b)に示すように、エポキシ樹脂の剥離に伴う粗骨材の割れ、アンカー筋間を繋ぐひび割れおよびアンカー筋を起点とする放射状のひび割れが確認された。

また、L21-6 は、写真 4.4(c)に示すように、アンカー筋先端部を繋ぐひび割れ、既存 RC 部側面のかぶりコンクリートの剥落が生じた。



(a) 接合鋼板の剥離



(b) 試験体のひび割れ状況

【試験終了時】



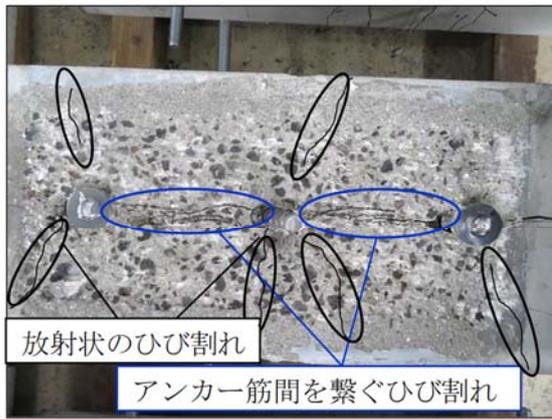
(c) アンカー筋の破断



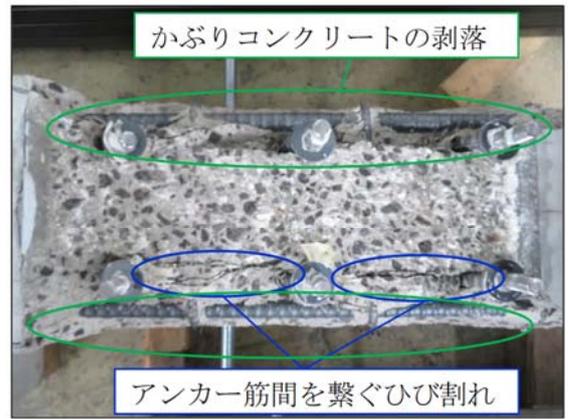
(d) アンカー筋のダボ変形

【試験終了後】

写真 4.2 主な破壊状況 (L21-3)

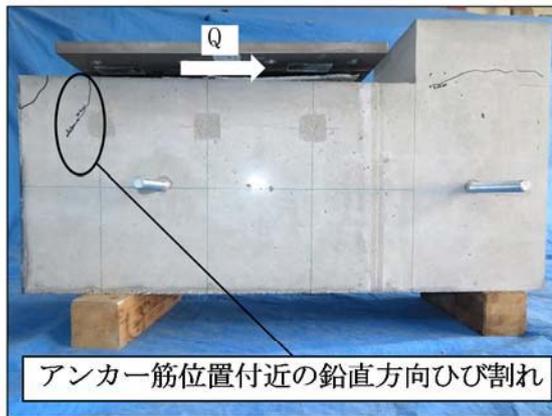


(a) L21-3

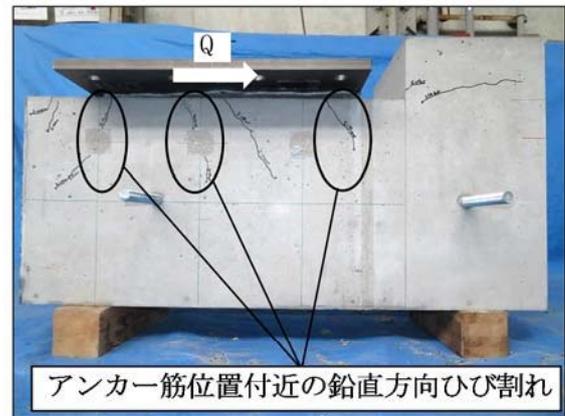


(b) L21-6

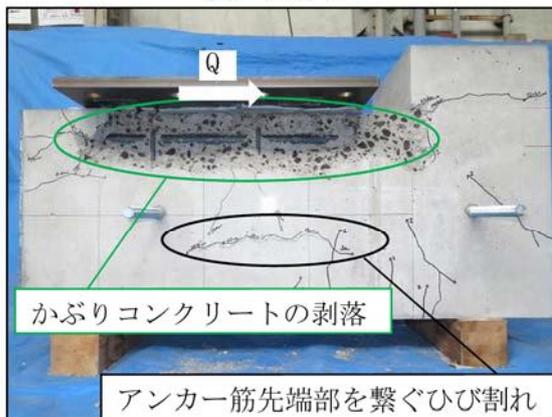
写真 4.3 試験終了後の接着面表面の状況



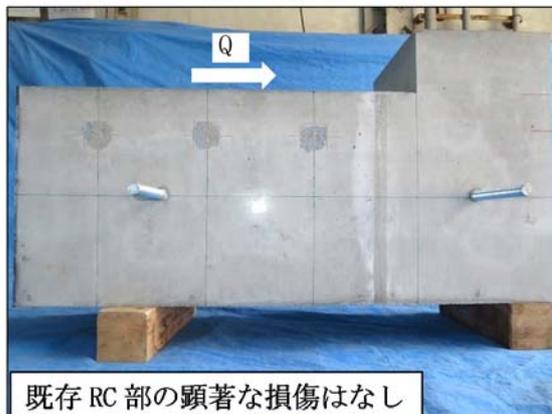
(a) L21-2



(b) L21-3



(c) L21-6



(d) L30-2



(e) L30-3

写真 4.4 試験終了後の状況

5. 終局耐力の評価

5.1 現行指針における終局耐力の評価

4章の図4.1で示したように、各試験体ともに最大耐力は水平ずれ変形量は $\delta_s=0.07\sim 1.17\text{mm}$ の範囲において接合面の剥離によって生じた。また、アンカー筋を2本とした試験体L21-2の最大耐力が、アンカー筋を3本としたL21-3よりも大きくなったものの、アンカー筋の配置量の増加に伴い、最大耐力が増大する傾向が見られることから、アンカー筋量の増大は接合面の最大耐力の増大に寄与していると考えられる。これら軽量コンクリートを用いた場合のアンカー併用接着接合部の破壊性状は、説明資料(2)で示した普通コンクリートを対象とした場合の試験結果と同様であると考えられる。

以上より、既存部のコンクリート種別が軽量コンクリートである場合においても、アンカー併用接着接合部の終局耐力は普通コンクリートの場合と同様の式を用いて評価する。

現行の設計・施工指針に基づいて算出したアンカー併用接着接合部の終局耐力の計算結果 $b\tau_{ju}$ および各試験体の最大耐力 τ_{max} の一覧を表5.1に、各試験体の $\tau_{max}-b\tau_{ju}$ 関係を図5.1に示す。表5.1に示す計算結果は、表2.2～表2.3に示した材料試験結果を用いて算定している。

表5.1および図5.1に示すように、各試験体の最大耐力 τ_{max} と終局耐力の計算結果 $b\tau_{ju}$ の比 $\tau_{max}/b\tau_{ju}$ は、0.83～1.39となり、計算結果 $b\tau_{ju}$ を下回る試験体が見られた。

表 5.1 試験結果一覧

試験体	計算結果 ^{※1}						試験結果		
	Q _b (kN)	Q _{ay}		bQ _{ju} (kN)	b τ_{ju} (N/mm ²)	Q _{max} (kN)	τ_{max} (N/mm ²)	τ_{max} /b τ_{ju}	
		Q _{ay1}	Q _{ay2}						
L21-2	202	125	115	115	317	440	4.40	1.39	
L21-3	202	188	173	173	374	374	3.74	1.00	
L21-6	202	376	345	345	547	658	6.58	1.20	
L30-2	240	125	126	125	365	305	3.05	0.83	
L30-3	240	188	188	188	428	425	4.25	0.99	

Q_b：接着による耐力

Q_{ay}：アンカー部耐力(=min(Q_{ay1}, Q_{ay2}))

Q_{ay1}：アンカー筋のせん断耐力によるアンカー部耐力

Q_{ay2}：既存コンクリート支圧耐力によるアンカー部耐力

bQ_{ju}：アンカー併用接着接合部の終局耐力、b τ_{ju} ：同終局せん断応力度

Q_{max}：最大せん断力、 τ_{max} ：最大せん断応力度

※1：軽量コンクリートに対する特別な低減を行っていない。

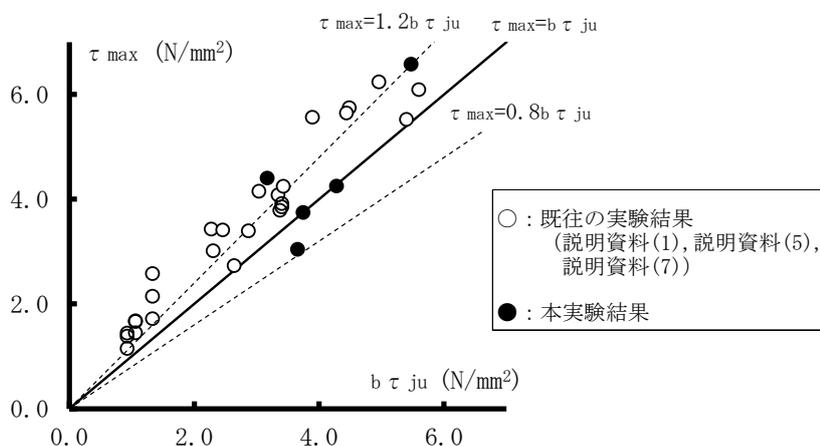


図 5.1 $\tau_{max}-b\tau_{ju}$ 関係

5.2 コンクリート種別を考慮した終局耐力の評価

ここで、エポキシ樹脂の接着力による接着接合部のせん断すべり耐力を評価した文献1によると、普通コンクリートの場合のせん断すべり耐力に対し、軽量コンクリートの場合の耐力は 0.9 倍することが示されている。

また、建築研究振興協会による既存建築物の耐震診断・耐震補強設計マニュアル²⁾では、軽量コンクリートにあと施工アンカーを打設する場合のせん断耐力および引抜き耐力に対し、普通コンクリートに対する耐力算定値に低減係数 0.9 を乗じることが示されている。

これらを踏まえ、本工法においても、既存部のコンクリート種別が軽量コンクリートである場合については、普通コンクリートに対する耐力に低減係数を乗じる方針とする。その低減係数は実験で得られた下限値から 0.8 とする。この低減係数を考慮し、再度計算耐力を算出した耐力一覧を表 5.2 に示す。

同表によると、コンクリート種別による低減係数を考慮することで、各試験体の最大耐力 τ_{max} と終局耐力の計算結果 $b\tau_{ju}$ の比 $\tau_{max}/b\tau_{ju}$ は、1.0 を上回っており、全ての試験体においてアンカー併用接着接合部の終局耐力を安全側に評価することができる。

表 5.2 コンクリート種別を考慮した耐力一覧

試験体	計算結果						試験結果		
	Q _b (kN)	Q _{ay}			bQ _{ju} (kN)	b τ_{ju} (N/mm ²)	Q _{max} (kN)	τ_{max} (N/mm ²)	τ_{max} /b τ_{ju}
		Q _{ay1}	Q _{ay2}	(kN)					
L21-2	161	100	92	92	253	2.53	440	4.40	1.74
L21-3	161	150	138	138	299	2.99	374	3.74	1.25
L21-6	161	300	276	276	438	4.38	658	6.58	1.50
L30-2	192	100	100	100	292	2.92	305	3.05	1.04
L30-3	192	150	151	150	342	3.42	425	4.25	1.24

Q_b : 接着による耐力

Q_{ay} : アンカー一部耐力 (=min(Q_{ay1}, Q_{ay2}))

Q_{ay1} : アンカー筋のせん断耐力によるアンカー一部耐力

Q_{ay2} : 既存コンクリート支圧耐力によるアンカー一部耐力

bQ_{ju} : アンカー併用接着接合部の終局耐力、b τ_{ju} : 同平均終局せん断応力度

Q_{max} : 最大せん断力、 τ_{max} : 最大せん断応力度

6. まとめ

本実験では、既存 RC 部が軽量コンクリートである場合の、アンカー併用接着接合部のせん断加力実験を行い、その破壊性状および最大耐力を確認した。本実験により得られた結果を以下にまとめる。

- ・各試験体ともに、接着面全面が剥離することで、最大耐力に達した。その後、L30-2 を除いて、最終変形時までに、既存 RC 部のアンカー筋位置付近に、鉛直方向にひび割れが生じた。また、アンカー筋を 6 本とした L21-6 では、既存 RC 部のコンクリートの剥落が生じた。試験終了後のアンカー筋には、破断もしくは顕著なダボ変形が確認された。
- ・本工法的设计・施工指針に基づいて算出した軽量コンクリートを用いたアンカー併用接着接合部の終局耐力の計算結果に対し、コンクリート種別による低減係数 0.8 を考慮することで、全ての試験体においてアンカー併用接着接合部の終局耐力を安全側に評価することができた。

参考文献

- 1) 接着工法研究会、ショーボンド建設株式会社：鉄骨ブレース接着工法 設計・施工指針 2012 年改訂版
- 2) 一般社団法人 建築研究振興協会：既存建築物の耐震診断・耐震補強設計マニュアル 2018 年版 下巻、6.1.8 あと施工アンカーの設計・施工、pp. 79-87