

論文 低強度コンクリートを有する既存 RC 建物の耐震補強における あと施工アンカーの適用に関する実験的研究

貞末 和史*1・寺村 悟*2・細川 洋治*3・南 宏一*4

要旨：コンクリート圧縮強度 σ_c が 13.5N/mm^2 を下回る低強度のコンクリートを有する既存不適格鉄筋コンクリート建物に、あと施工アンカーを用いて耐震補強を行なうことの妥当性を検証するために、普通強度のコンクリートに対して実用されている 16 種類のあと施工アンカーを選定し、アンカー単体の引張試験とせん断試験および間接接合部を想定した要素実験を行い、引張強度およびせん断強度は σ_c が 13.5N/mm^2 を上回るコンクリートに対して適用されている既往の評価式を用いて安全側に評価できることを明らかにした。

キーワード：耐震補強, 低強度コンクリート, あと施工アンカー, 間接接合部, 引張強度, せん断強度

1. はじめに

既存不適格 RC 建物の耐震補強として、枠組付き鉄骨ブレース等を増設する工法があり、既存の RC 躯体と鉄骨枠組との接合部（間接接合部）には、「あと施工アンカー」が多用されている。あと施工アンカーを用いた耐震補強は、(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¹⁾」(以下、改修設計指針と称す)に従って、コンクリート圧縮強度 σ_c が 13.5N/mm^2 以上の建物を対象として、改修設計が行われるのが通常であるが、近年の既存建物のコンクリート強度に関する報告において、 σ_c が 13.5N/mm^2 以下の低強度コンクリートの建物が 10%程度存在することが発表されている^{2),3)}。そこで、本研究では、現在 σ_c が 13.5N/mm^2 以上のコンクリートに対して実用されているあと施工アンカーの中から、16 種類のあと施工アンカーを選定して、低強度コンクリートに対して適用したあと施工アンカーの引張強度とせん断強度について検討するために、アンカー単体の引張試験とせん断試験、さらに実際の枠組付き鉄骨ブレース補強等における鉄骨枠組と既存 RC 躯体との間接接合部を想定した要素実験を行った。

2. あと施工アンカーの分類

あと施工アンカーは、図-1 に示すように接着系アンカーと金属系アンカーに大別される。接着系アンカーは、定着させるアンカー筋全周を固着剤により定着させるもので、充填方法、施工方法、容器種類、内容物種類(固着剤の主成分)によって分類される。金属系アンカーは、定着させるアンカー筋を設置後、アンカーの先端を拡張させて定着させるもので、アンカー方式、施工方法、アンカー型種類によって分類される。

本研究では、日本建築あと施工アンカー協会の製品認定および建築耐震補強工事で大臣指定書を受ける接着

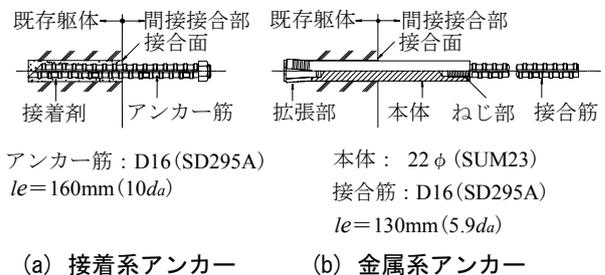


図-2 あと施工アンカー概要

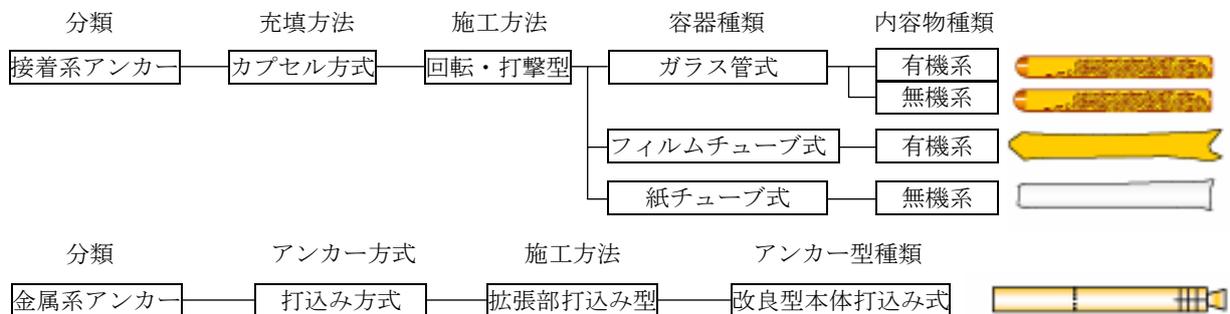


図-1 対象としたあと施工アンカーの分類

*1 広島工業大学 工学部建築工学科准教授 博士(工学) (正会員)
 *2 電気化学工業(株) セメント・特混事業部技術室長 (正会員)
 *3 サンコーテクノ(株) 最高技術顧問 工博 (正会員)
 *4 福山大学 工学部建築・建設学科教授 工博 (正会員)

表-1 対象としたあと施工アンカー一覧

No.	分類	充填方法	施工方法	容器種類	内容物種類		製品会社	単体実験		間接接合部要素実験
					種別	主成分		引張試験	せん断試験	
1	接着系	カプセル方式	回転・打撃型	ガラス管式	有機系	エポキシ アクリレート樹脂	A1	5体	5体	—
2							B1	5体	5体	—
3							C1	5体	5体	—
4							D1	5体	5体	—
5						ビニル エステル樹脂	E1	5体	5体	—
6							F1	5体	5体	—
7							G1	5体	5体	—
8							H1	5体	5体	—
9						不飽和 ポリエステル樹脂	I1	5体	5体	—
10							I2	5体	5体	2体
11							I3	5体	5体	—
12						無機系	セメント系	B2	5体	5体
13				フィルム チューブ式	有機系	エポキシ アクリレート樹脂	D2	5体	5体	2体
14				紙チューブ式	無機系	セメント系	J1	5体	5体	—
15							K1	5体	5体	2体
No.	分類	アンカー方式	施工方法	アンカー型種類		製品会社	単体実験		間接接合部要素実験	
16	金属系	打込み方式	拡張部打込み型	改良型本体打込み式		L1	5体	5体	2体	

注) 接着系アンカーに関しては、同一種類でも複数の製品会社のあと施工アンカーを用いている。

系アンカー15種類と金属系アンカー1種類の表-1に示す合計16種類を選定し、アンカー筋に求められる基本的性状である単体実験を行った。また、15種類の接着系アンカーの中から容器種類と内容物種類(有機系、無機系)が異なる4種類と金属系アンカーを加えた合計5種類について、間接接合部要素実験を行った。

図-2に本実験で使用したあと施工アンカーの概要を示す。接着系アンカーは異形棒鋼D16(SD295A)を用いて有効埋め込み深さ le を $10d_a$ (d_a :アンカー筋の呼び径)とし、金属系アンカーは $\phi 22$ (SUM23)のアンカー筋を用いて le を $5.9d_a$ とした。 le は改修設計指針の構造規定を満たす長さとなっている。

3. 母体となる低強度コンクリート

あと施工アンカーの適用を検討する既存建物のRC躯体を想定した低強度コンクリートは、設計基準強度 $F_c=9N/mm^2$ として、既往の研究^{4),5)}を参考にし、調査設計を行った。調査表を表-2に示す。本研究で用いた低強度コンクリートは、石灰石微粉末を多量に混和して、水セメント比を大きくすることでコンクリートの強度

表-2 低強度コンクリートの調査表 (単位:kg/m³)

水	セメント	石灰石微粉末	細骨材	粗骨材	混和材
210	134	189.5	855	853	2.58

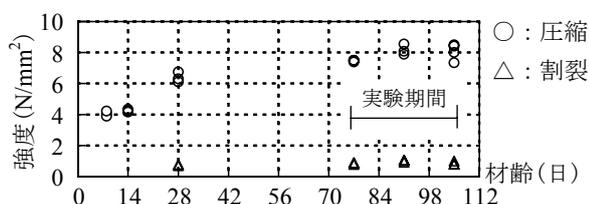


図-3 コンクリート強度

発現を低く抑えたものである。なお、アンカー単体実験(引張試験, せん断試験)と間接接合部要素実験は、図-3に示す材齢77~105日の期間に実験を行った。

4. 単体実験

アンカー筋の単体実験(引張試験, せん断試験)は、実験を行う16種類のあと施工アンカーの数に合わせて製作した1.80m×1.55m(厚さ250mm)のコンクリートスラブ($F_c=9N/mm^2$)16体に、それぞれ引張試験用, せん断試験用のあと施工アンカーを各試験6本ずつ固着させ、5本のアンカー筋について実験を行った(1本は予備)。単体実験に用いた試験体の形状を図-4および写真-1に示す。コンクリートスラブには、試験体を移動させる際のひび割れ発生防止のため鉄筋(D13)を配しているが、単体実験に影響を与えない位置に配筋している。

実験に使用したコンクリートとアンカー筋の材料試験結果を表-3, 表-4に示す。

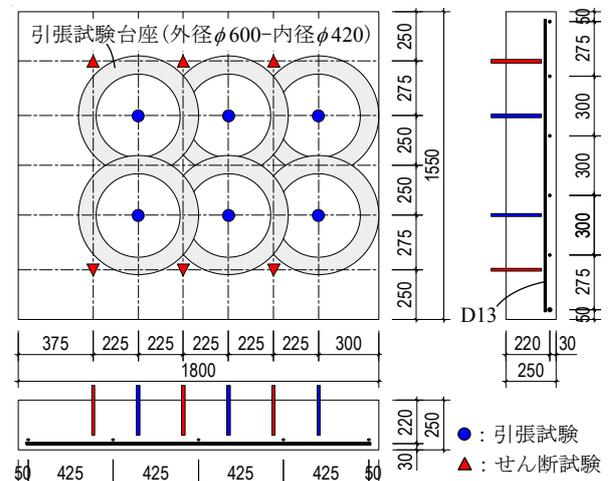


図-4 単体実験試験体形状 (単位:mm)

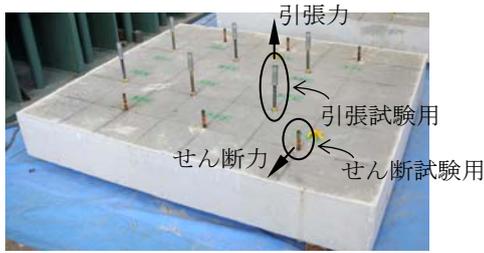


写真-1 単体実験試験体

表-3 コンクリートの材料強度

圧縮 σ_B (N/mm ²)	引張 σ_t (N/mm ²)
8.11	0.94

注) 実験期間 (材齢 77~105 日) における平均値

表-4 アンカー筋の材料強度

種類		降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
D16 (SD295)	接着系	364	533	23.8
22φ (SUM23)	金属系	444	545	—

4.1 引張試験

(1) 実験方法

あと施工アンカー単体の引張試験の方法を図-5 に示す。載荷はセンターホール型油圧ジャッキを用い、ロードセルで引張力 P_t を検出した。なお、載荷初期段階は荷重を制御し、降伏点近くから変位制御に切替えてデータ計測を行い、最終的にはアンカー筋が破断もしくはコンクリート母材が破壊に至るまで単調引抜き試験を行った。変位の測定は、写真-1 に示すようにアンカー筋引張方向の引抜き変位 δ を 2 箇所測定し平均を求めた。

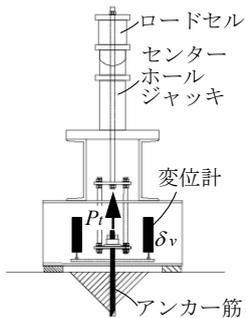


図-5 引張試験



写真-1 引張試験

(2) 破壊性状と荷重変形関係

引張試験は、各種類それぞれ 5 本のアンカー筋の実験において、最大荷重が最大と最小の試験体を除く 3 体の試験体を抽出して検討を行った。

接着系アンカーに関しては、全ての試験体における破壊形態は、図-6 および写真-2 に示すようなコーン破壊+付着破壊の複合破壊の様相が見られ、固着材の主成分の違いによる差異はないことが確認された。また、金属系アンカーに関しては、コーン破壊+アンカー筋の抜

け出しの様相が見られた。

P_t - δ 関係の一例を図-7 に示す。金属系アンカーは接着系アンカーと比較して剛性と最大強度が小さく、 δ が大きくなってから最大強度に達することが確認された。

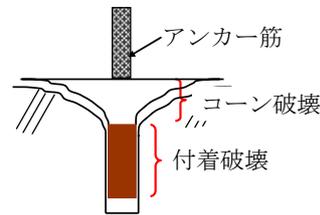
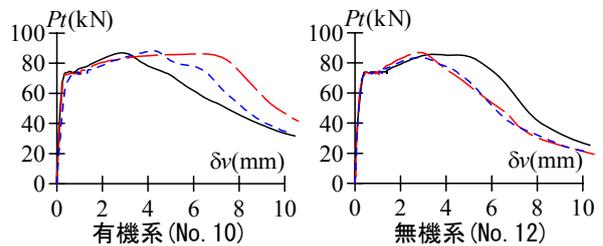


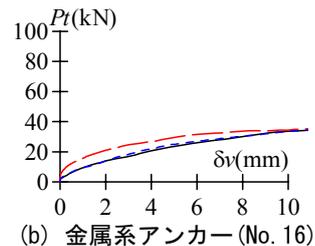
図-6 破壊状況概略



写真-2 破壊状況



(a) 接着系アンカー



(b) 金属系アンカー (No. 16)

図-7 引張力-変位関係

4.2 せん断試験

(1) 実験方法

あと施工アンカー単体のせん断試験の方法を図-8 に

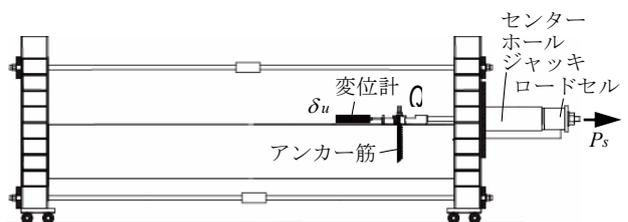


図-8 せん断試験



写真-3 せん断試験

示す。荷重はコンクリートスラブの表面にテフロンシートを敷いて、その上に載荷板を置き、アンカー筋と載荷板の隙間には石膏を流し込み固定した。加力方法はセンターホール型油圧ジャッキにより、荷重を制御して漸増載荷を行なった。変位の測定は、写真-3 に示すようにアンカー筋材軸に対して直角方向の変位 δ_u を2箇所測定し平均を求めた。

(2) 破壊性状と荷重変形関係

せん断試験は、各種類それぞれ5本のアンカー筋の実験において、最大荷重が最大と最小の試験体を除く3体の試験体を抽出して検討を行った。なお、本試験体では、 P_s を漸増させていくと、最終的には写真-4 に示すようにアンカーボルトがコンクリートを割り裂く破壊（割裂破壊）を生じ、他の実験に影響を及ぼすことが懸念されたため、せん断試験は、 δ_u が25mmもしくは P_s が70kNに達した時点で載荷を終了し、その間での最大荷重をせん断強度の最大値とした。

コンクリートが割裂破壊を生じる以前においては、全ての試験体の試験終了時における破壊形態は写真-5 に示すようなコンクリートの支圧破壊の様相が見られた。

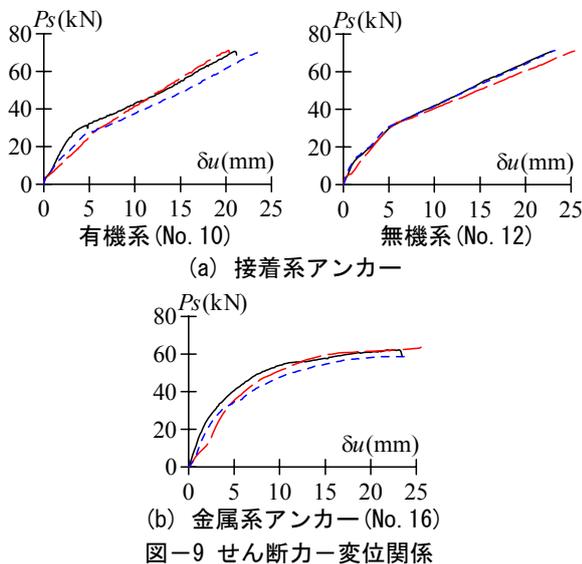
P_s - δ_u 関係の一例を図-9 に示す。引張試験においては、接着系アンカーと金属系アンカーで剛性が大きく異なっていたが、せん断試験に関しては、接着系アンカーと金属系アンカーで引張試験ほどの剛性の違いが見ら



写真-4 割裂破壊



写真-5 支圧破壊



れなかった。これは、引張試験とせん断試験では抵抗機構が異なることが影響している。引張力を受ける金属系アンカーは、アンカー筋が全長にわたり伸び、さらに、コンクリートから抜け出す影響を強く受け、接着系アンカーよりも剛性が小さくなったものと推察される。

最大強度に関しては、金属系アンカーよりも接着系アンカーの方が最大強度は大きくなり、接着系アンカーは実験終了時まで δ_u の漸増に伴い強度が上昇し続けたのに対して、金属系アンカーの強度は δ_u が20mm程度でほぼ頭打ちとなることが確認された。

5. 間接接合部要素実験

3, 4章では、低強度コンクリートに設置された16種類のあと施工アンカー単体の引張試験およびせん断試験を行った。本章では、16種類のあと施工アンカーの中から、5種類のあと施工アンカー（接着系アンカー4種類、金属系アンカー1種類）を選択し、実際の既存RC建物の枠組付き鉄骨ブレース補強等の耐震補強における間接接合部を想定した試験体を製作し、間接接合部に直接せん断力 Q を加える載荷実験を行って検討した。

5.1 実験方法

試験体形状を図-10 に示す。各試験体とも同一試験体を2体ずつ合計10体の試験体を製作した。

低強度のコンクリートを有する既存RC躯体に相当する部分は316mm×350mmの断面を有しており、一部分は640mm×295mmの断面を有するスタブコンクリートに埋め込まれた形状となっている。また、間接接合部には、あと施工アンカーと頭付きスタッドを120mm間隔で交互に配置し、6φのスパイラル筋を配筋した。試験体を使用したアンカー筋とコンクリートは、単体試験と同様の材料を用いており、表-3、表-4 に示される材料強度を有している。間接接合部要素実験に用いたその他の材料の材料試験結果を表-5、表-6 に示す。

載荷は、図-11 に示す載荷載荷を用いて、既存部と間接接合部の相対ずれ変位 δ を変位制御して、正負繰返しに漸増載荷を行った。

表-5 コンクリートの材料強度

既存部		間接接合部(無収縮モルタル)	
圧縮 σ_B (N/mm ²)	引張 σ_t (N/mm ²)	圧縮 σ_B (N/mm ²)	引張 σ_t (N/mm ²)
8.11	0.94	36.1	3.77

注) 既存部コンクリートは単体実験と同じ

表-6 鋼材の材料強度

使用箇所	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
6φ 割裂防止筋	589	647	8.35
13φ スタッド	305	462	22.0
D19(SD345) 既存部	369	550	17.9
D13(SD295A) 既存部	289	450	18.4

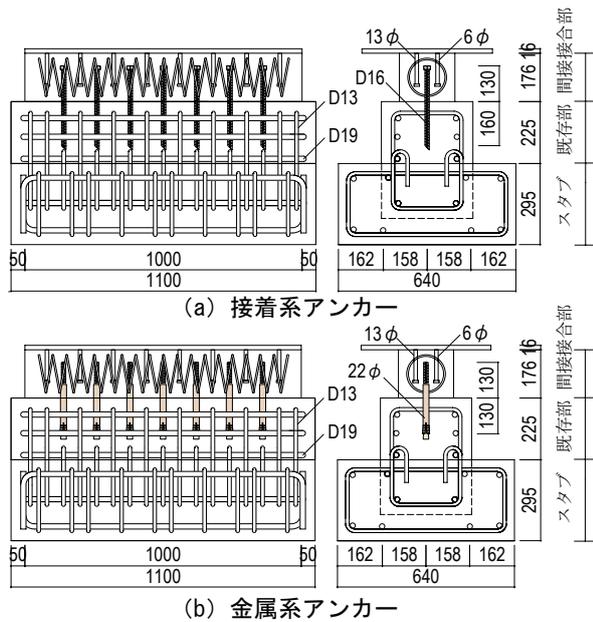


図-10 間接接合部要素実験試験体形状 (単位:mm)

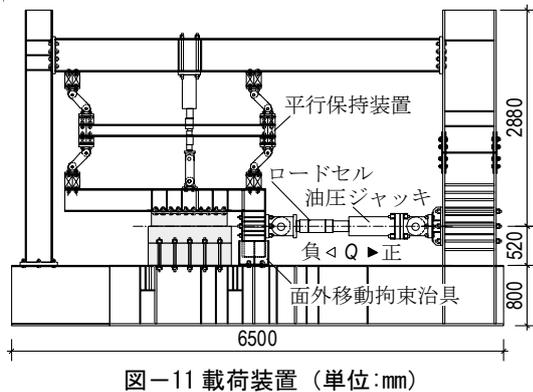


図-11 載荷装置 (単位:mm)

5.2 破壊性状と荷重変形関係

破壊状況の一例を写真-6、写真-7に示す。最終破壊状況は、接着系アンカーと金属系アンカーでは破壊の様相が異なり、接着系アンカーの場合、全体的に多くの斜めひび割れを生じているのに対して、金属系アンカーの場合、アンカー筋の定着端付近に多くのひび割れを生じている。また、金属系アンカーは、図-12に示すように δ の漸増に伴い、既存部と間接接合部の境界面の目開き幅 δ_b が大きくなっていることから、アンカー筋が抜け出しを生じているものと推察される。しかしながら、最大

強度時における外観の破壊状況は、軽微なひび割れの発生に留まっていることから、アンカー筋の周辺において、既存部のコンクリートが支圧破壊を生じたことによって最大強度に達したものと推察される。

Q- δ 関係の一例を図-13に示す。接着系アンカーと金属系アンカーを比較すると、最大強度は金属系アンカーより接着系アンカーの方が大きく、接着系アンカーは金属系アンカーよりも小さな変位で最大耐力に達している。また、金属系アンカーより接着系アンカーの方が最大強度以降の耐力低下が大きいことが確認された。

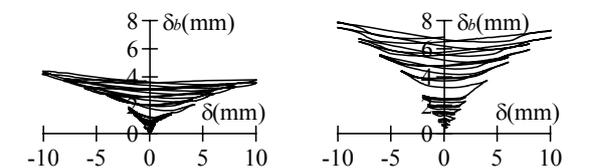
アンカー筋単体のせん断試験では、 δ_b の漸増に伴い $\delta_b=25\text{mm}$ までせん断強度が上昇しているが、実際の耐震補強における間接接合部を想定した要素実験では、 $\delta_b=25\text{mm}$ よりも微小な変位で最大強度に達し、その後、強度低下を生じている。これは、既存部コンクリート上端におけるアンカー筋の拘束状態の違いが影響したものである。



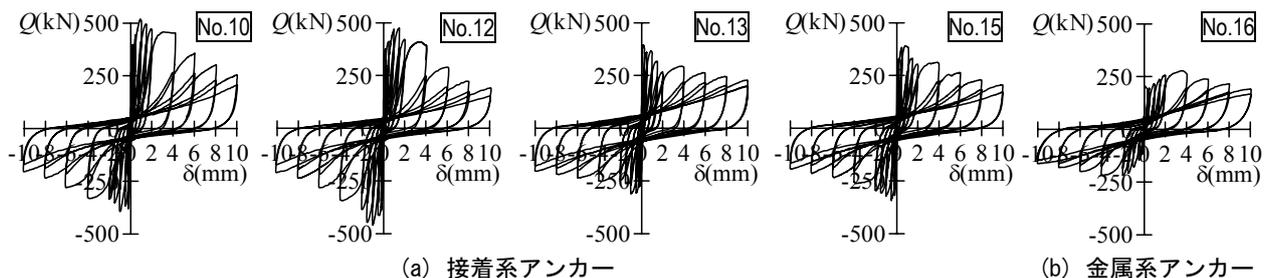
(a) 接着系アンカー (No. 10) (b) 金属系アンカー (No. 16)
写真-6 最大強度時の破壊状況



(a) 接着系アンカー (No. 10) (b) 金属系アンカー (No. 16)
写真-7 最終破壊状況



(a) 接着系アンカー (No. 10) (b) 金属系アンカー (No. 16)
図-12 既存部と間接接合部の境界面の目開き



(a) 接着系アンカー (b) 金属系アンカー
図-13 せん断力-変位関係

表-7 実験結果一覧

No.	単体実験		間接接合部要素実験	引張計算値 T_a (kN)	せん断計算値 Q_a (kN)	T_{max}/T_a	Q_{end}/Q_a	Q_{max}/Q_a
	引張最大値 T_{max} (kN)	せん断最大値 Q_{end} (kN)	せん断最大値 Q_{max} (kN)					
1	85.9	70.5	—	50.0	28.4	1.7	2.5	—
2	74.4	70.8	—			1.5	2.5	—
3	94.9	70.8	—			1.9	2.5	—
4	87.1	68.9	—			1.7	2.4	—
5	92.5	68.4	—			1.9	2.4	—
6	82.3	70.9	—			1.6	2.5	—
7	82.2	70.6	—			1.6	2.5	—
8	91.2	70.8	—			1.8	2.5	—
9	86.0	70.9	—			1.7	2.5	—
10	87.1	70.8	66.9			1.7	2.5	2.4
11	81.7	70.5	—			1.6	2.5	—
12	85.3	71.1	60.0			1.7	2.5	2.1
13	85.5	68.9	55.5			1.7	2.4	2.0
14	87.5	71.6	—			1.8	2.5	—
15	80.7	71.3	52.9			1.6	2.5	1.9
16	42.8	61.5	41.1	40.6	21.3	1.1	2.9	1.9

注) 単体実験は3本の実験の平均値, 間接接合部要素実験は2体の実験の平均値

6. 引張強度とせん断強度の評価

6.1 引張強度

改修設計指針では、引張力を受けるあと施工アンカーの強度 T_a は、接着系アンカーに対して式(1)、金属系アンカーに対して式(2)で評価している。

$$T_a = \min(T_{a1}, T_{a2}, T_{a3}) \quad (1)$$

$$T_a = \min(T_{a1}, T_{a2}) \quad (2)$$

ここに、 T_{a1} はアンカー筋引張降伏強度、 T_{a2} はコンクリートのコーン破壊強度、 T_{a3} はアンカー筋付着強度である。

6.2 せん断強度

改修設計指針では、せん断力を受けるあと施工アンカーの強度 Q_a は、接着系アンカーと金属系アンカーのそれぞれに対して下式で評価している。

$$Q_a = \min(Q_{a1}, Q_{a2}) \quad (3)$$

ここに、 Q_{a1} はアンカー筋の耐力で決まる強度、 Q_{a2} はコンクリートの支圧で決まる強度であり、なお、 Q_{a2} の評価は接着系アンカーと金属系アンカーで異なっている。

6.3 実験値と計算値の比較

本実験で得られた引張強度とせん断強度の最大値および改修設計指針式による計算値の一覧を表-7 に示す。なお、間接接合部要素実験の最大値 Q_{max} はアンカー筋1本当たりの最大値として示した。

アンカー種類に関わらず、引張強度はコンクリートのコーン破壊、せん断強度はコンクリートの支圧破壊でそれぞれの強度が決まる計算結果となり、実験の破壊モードと一致することが確認され、いずれの評価式とも実験結果を安全側に評価していることが確認された。

7. まとめ

低強度コンクリートに適用したあと施工アンカーの引張強度とせん断強度を調べるための実験を行い、接着

系アンカー、金属系アンカー共に改修設計指針に示される強度評価式を用いて安全側に評価できることを示した。しかしながら、本実験は、低強度コンクリートを有する実構造物から抜き出したコンクリートではないため、実用に対しては注意を要するものと思われる。

謝辞

本実験を実施するにあたり、(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」(委員長：南宏一福山大学教授)、(社)日本建築あと施工アンカー協会および接着系あと施工アンカー各社より多大なる協力を得ました。ここに記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 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) 山本泰稔：既存鉄筋コンクリート構造物の耐震補強-低強度コンクリートが抱える諸問題について-，構造コンサルティング協会，協会ニュース Strec，No.38，pp19-32，2007.7
- 3) 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委員会報告書，pp133-158，2009.2
- 4) 山本泰稔，片桐太一，秋山友昭，J.F.トンプソン：低強度コンクリート中における接着系アンカー筋の荷重伝達能力，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.1，pp553-558，2000.6
- 5) 根口百世，南宏一ほか：低強度コンクリートを用いた丸鋼を主筋とする RC 柱のせん断破壊性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.3，pp157-162，2007.6