

論文 超高強度繊維補強コンクリート及び高強度無収縮モルタルを充填部に使用したプレキャスト部材接合部の引張性能に関する実験的研究

諏訪田 晴彦^{*1}・向井 智久^{*1}・白井 一義^{*2}・衣笠 秀行^{*3}

要旨: 本論は、超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）を用いたプレキャスト壁部材を袖壁や方立て壁として既存RC造建物に組み込む耐震補強工法の開発の一環として、既存躯体との接合部において引張応力が卓越するような部位に適用できる接合方法を提案し、その有効性を実験により検討した結果を報告するものである。提案する接合方法は、充填材を介してアンカー筋とスタッド筋の応力伝達に期待する方法、充填材のシアコッターに応力伝達を期待する方法および充填材を介してPC鋼棒の圧着力に応力伝達を期待する方法の3種類で、実験の結果、各接合方法とも引張応力が卓越する部位に適用できる可能性が確認された。

キーワード: 耐震補強, 超高強度繊維補強コンクリート, プレキャスト部材, 接合部, 引張性能

1. はじめに

著者らは既存RC建物の耐震補強工法として、超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）を用いたプレキャスト壁部材を既存躯体に組み込む増設壁補強工法を検討している。増設壁の型式としては耐震壁型、方立て壁型、袖壁型の3種類があるが、各型式の増設壁の補強効果を十分に発揮させるためには、それぞれの応力伝達機構に適した既存躯体との接合方法を選定する必要がある。著者ら¹⁾はこれまでに、財団法人日本建築防災協会「2001年度改訂版 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」²⁾（以下、耐震改修指針）に示されている現行の間接接合を用いた部材実験を行い、その適用性を検討した。その結果、耐震壁型のものには、概ね適用可能であるが、方立て壁型、袖壁型では引張応力により接合部に破壊が集中し、応力伝達ができなくなる性状を示した。そこで、引張応力が作用する箇所に適用するための新たな接合方法を提案し、その有効性を検討することを目的として接合部要素実験を行った。本論は、その結果をまとめたものである。

2. 提案する接合方法について

提案する接合方法を図-1に示す。接合方法Aは既往の

鉄骨枠組みブレース補強等に使用されている間接接合を基にした接合方法であり、応力伝達は充填材料を介してアンカー筋・スタッド筋間で行われる。また、コッターによりせん断力の伝達を行う。接合部充填材料にはUFCを用いており、接合部にスパイラル筋を配しないことが特徴である。接合方法Bはスタッド筋を配置せずプレキャストUFC壁を直接充填材料(UFC)に埋め込み、シアコッターにより応力伝達を行うものである。また、面外変形を拘束するために抑え筋や充填材貫通コッターを設けている。応力伝達は充填材料を介してアンカー筋・プレキャストUFC壁間で行われる。接合方法Cは既存躯体に取り付けた鋼製アングルとプレキャストUFC壁間に、充填材料を介してPC鋼棒で締め付け、主として摩擦力によって応力伝達する方法である。

3. 実験計画概要

本研究ではUFCに埋め込んだアンカー筋単体の引抜き実験と提案接合部要素の引張実験を行った。

3.1 鉄筋の単体引抜き実験計画 (T1及びT1' シリーズ)

アンカー筋を介して応力伝達を行う間接接合部の充填材料にUFCを用いた場合におけるアンカー筋単体の引き抜き挙動を把握するために単体引抜き実験 (T1シリーズ

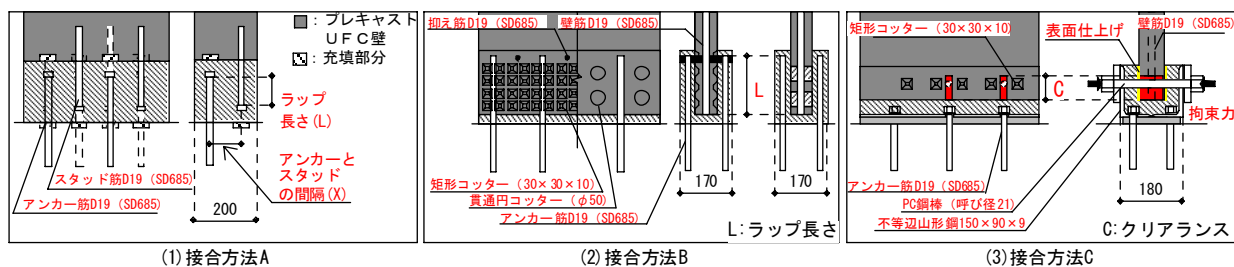


図-1 提案する接合方法

*1 独立行政法人 建築研究所 博士(工学) (正会員)

*2 太平洋セメント株式会社 中央研究所 工博 (正会員)

*3 東京理科大学 工博 (正会員)

ズ)を行った。また、UFCにおける繊維の効果を確認するために、UFCのモルタルのみを用いた実験(TI'シリーズ)も併せて行った。表-1に実験因子一覧を示す。試験体は実大を想定し、TI'-①～⑤及びTI-①～⑨ではUFCパネルの2辺に、TI-A～KではUFCパネルの3辺にD19(SD685)のねじ鉄筋を埋め込み、1体の試験体で複数の因子を扱えるよう計画した。実験因子としてはアンカー筋の埋込み長さ、接合部厚さ、アンカー筋頭ナットの有無、反力点間距離を設定し、TI'-①～⑤及びTI-①～⑨では2体ずつ、TI-A～Kでは3体ずつ計61体の実験を行った。また、表-2に使用材料の試験結果を示す。なお、UFCの割裂強度は割裂用テストピースの底面に貼付した歪ゲージが非線形化した時点の値から算定している。図-2に実験方法の概要を示す。加力はセンターホールジャッキによる一方向単調引張载荷とし、計測は変位計・歪ゲージより全体変形及び鉄筋歪をそれぞれ計測した。

表-1 単体引抜き実験因子一覧

| TI' | | | | | | |
|--------|---------------|------------|------------------------|-------|-------|-------------------|
| 試験体 | 材料 | 壁厚 (mm) | アンカー筋埋込長さ (db) (mm) | | 頭ナット | 反力点距離 (le, mm) |
| TI'-① | UFC (繊維無し) | 50 | 5 | 95 | 無 | 380 |
| TI'-② | | | 10 | 190 | | 760 |
| TI'-③ | | 100 | 5 | 95 | | 380 |
| TI'-④ | | | 7.5 | 142.5 | | 570 |
| TI'-⑤ | | | 10 | 190 | | 760 |
| TI-①～⑨ | | | | | | |
| 試験体 | 材料 | 壁厚 (mm) | アンカー筋埋込長さ (db) (mm) | | 頭ナット | 反力点距離 (le, mm) |
| TI-① | UFC (繊維有り) | 100 | 5 | 95 | 無 | 2 190 |
| TI-② | | | | | 4 380 | |
| TI-③ | | | | | 6 570 | |
| TI-④ | | | 有 | 4 380 | | |
| TI-⑤ | | | 2 285 | | | |
| TI-⑥ | | | 7.5 | 142.5 | 無 | 4 570 |
| TI-⑦ | | | | | 6 855 | |
| TI-⑧ | | | | | 有 | 4 570 |
| TI-⑨ | | | 10 | 190 | 無 | 4 760 |
| TI-A～K | | | | | | |
| 試験体 | 材料 | 壁厚 (mm) | アンカー筋埋込長さ (db) (mm) | | 頭ナット | 反力点距離 (le, mm) |
| TI-A | UFC (繊維有り) | 50 | 2.5 | 47.5 | 無 | 4 190 |
| TI-B | | | 5 95 | 無 | 4 380 | |
| TI-C | | | 7.5 142.5 | 無 | 4 570 | |
| TI-D | | | 10 190 | 無 | 4 760 | |
| TI-E | | 100 | 2.5 | 47.5 | 無 | 4 190 |
| TI-F | | | 5 95 | 無 | 4 380 | |
| TI-G | | | 7.5 142.5 | 無 | 4 570 | |
| TI-H | | | 200 | 2.5 | 47.5 | 無 |
| TI-I | | 5 95 | | 無 | 4 380 | |
| TI-J | | 7.5 142.5 | | 無 | 4 570 | |
| TI-K | | 7.5 142.5 | | 有 | 4 570 | |

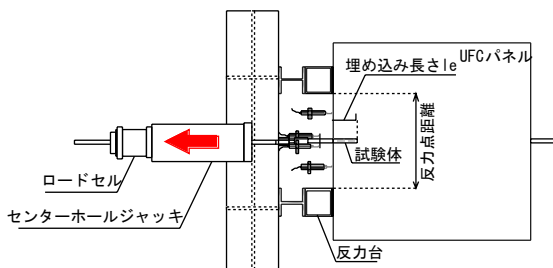


図-2 鉄筋の単体引抜き実験 加力・計測図

表-2 単体引抜き試験体の材料試験結果

| D19SD685 引抜き試験 | | |
|--------------------------|---------------------------|---------|
| TI', TI-①～⑨ | | |
| 降伏強度(N/mm ²) | ヤング係数(N/mm ²) | 降伏歪み(μ) |
| 7247 | 199568.1 | 4015.7 |
| TI-A～K | | |
| 降伏強度(N/mm ²) | ヤング係数(N/mm ²) | 降伏歪み(μ) |
| 7427 | 200297.8 | 4413.3 |

| UFC圧縮試験 | | | |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| TI', TI-①～⑨ | | | |
| 繊維有り | | 繊維無し | |
| 圧縮強度(N/mm ²) | ヤング係数(N/mm ²) | 圧縮強度(N/mm ²) | ヤング係数(N/mm ²) |
| 1690 | 54020.7 | 162 | 55979.5 |
| TI-A～K | | | |
| 圧縮強度(N/mm ²) | ヤング係数(N/mm ²) | | |
| 1703 | 53219.7 | | |

| UFC割裂試験 | |
|--------------------------|--------------------------|
| TI', TI-①～⑨ | |
| 繊維有り | 繊維無し |
| 割裂強度(N/mm ²) | 割裂強度(N/mm ²) |
| 98 | 77 |
| TI-A～K | |
| 割裂強度(N/mm ²) | |
| 95 | |

3.2 接合部要素の引張実験計画(T2シリーズ)

提案した各接合方法の引張性能を把握するために接合部要素の引張実験(T2シリーズ)を行った。試験体は各接合方法の一部分を取り出した実大試験体である。

接合方法Aの試験体詳細を図-3に、実験因子一覧を表-3にそれぞれ示す。実験因子はアンカー筋とスタッド筋の間隔とし、千鳥配置・ダブル配置のそれぞれについて検討した。

接合方法Bの試験体詳細を図-4に、実験因子一覧を表-4にそれぞれ示す。実験因子はアンカー筋とUFC壁とのラップ長さ、抑え筋の有無、コッターの数や形状とし、抑え筋やコッターの効果を確認する。引張力に対してB-T2-1,3は抑え筋と矩形コッターで、B-T2-2,4は充填材貫通コッターでそれぞれ抵抗する。B-T2-5,6は抑え筋下部にクリアランスを設けており、引張力に対して矩形コッターのみで抵抗する。

接合方法Cの試験体詳細を図-5に、実験因子一覧を表-5及び表-6にそれぞれ示す。実験因子は充填材料(UFC・高強度無収縮モルタル)、クリアランスの有無によるボルト周辺の条件(充填材料によるボンド・アンボンド)、PC鋼棒の拘束力の有無とし、各試験体の破壊モード及び摩擦係数を確認する。また、拘束力の経時変化の確認のため、蒸気養生(材齢4日後、60°で24時間)した試験体6体、気中養生(13日)した試験体8体を別途計画した。試験体の締め付けは図-6に示す方法により、歪ゲージの値を基に所定の初期引張力を導入した。なお、経時変化計測間隔は1時間毎に設定し6ヶ月間計測した。

加力は全接合方法共に万能試験機を用いて単純引張载荷を行った。ただし、接合方法Cに関しては除荷時剛性の把握を目的として途中で除荷・再载荷を繰り返した。図-7に加力計画加力概要図を示す。

図-8に各接合方法の引張実験計測図を示す。接合方法Aでは試験体の全体変形を計測した。接合方法B及びCでは接合面のズレ変形及び充填部の軸方向変形をそれぞれ計測した。また、アンカー筋、スタッド筋、抑え筋及びPC鋼棒に歪ゲージを貼付けそれぞれの歪を計測した。また、接合部要素試験体の材料試験結果を表-7に示す。

表-3 接合方法Aの実験因子一覧

| 試験体 | 検討配置 | アンカー(本) | スタッド(本) | 間隔x (da) (mm) | ラップ長さL (da) (mm) |
|--------|------|---------|---------|---------------|------------------|
| A-T2-1 | 千鳥 | 2 | 2 | 2 | 38 |
| A-T2-2 | | 2 | 2 | 3 | 57 |
| A-T2-3 | | 2 | 2 | 5.3 | 100 |
| A-T2-4 | ダブル | 1 | 2 | 2.6 | 50 |
| A-T2-5 | | 1 | 2 | 3.9 | 75 |

表-4 接合方法Bの実験因子一覧

| 試験体 | ラップ長さL | | 抑え筋 | コッター数 形状 | | |
|--------|--------|------|-----|----------|----|-------|
| | (da) | (mm) | | 行 | 列 | 種類 |
| B-T2-1 | 10 | 190 | 鉄筋 | 4 | 10 | 四角 |
| B-T2-2 | 10 | 190 | — | 2 | 1 | 円(貫通) |
| B-T2-3 | 15 | 285 | 鉄筋 | 6 | 10 | 四角 |
| B-T2-4 | 15 | 285 | — | 3 | 1 | 円(貫通) |
| B-T2-5 | 10 | 190 | 鉄筋 | 3 | 1 | 四角 |
| B-T2-6 | 10 | 190 | 鉄筋 | 3 | 2 | 四角 |

表-5 接合方法Cの実験因子一覧

| 試験体 | 充填材料 | ボルト固定条件 | 表面仕上げ | 充填 | クリアランスC (mm) | 拘束力 (kN) |
|---------|---------|---------|---------|----|--------------|----------|
| C-T2-1 | 無収縮モルタル | ボンド | テフロン | 全体 | 0 | 0.0 |
| C-T2-2 | | | 平滑 | 全体 | 0 | 58.4 |
| C-T2-3 | | | 平滑+コッター | 全体 | 0 | 54.3 |
| C-T2-4 | UFC | アンボンド | 平滑 | 全体 | 15 | 54.6 |
| C-T2-5 | | | 平滑 | 全体 | 40 | 54.1 |
| C-T2-6 | | | テフロン | 全体 | 0 | 0.0 |
| C-T2-7 | UFC | ボンド | 平滑 | 全体 | 0 | 52.2 |
| C-T2-8 | | | 平滑+コッター | 全体 | 0 | 53.9 |
| C-T2-9 | | | 平滑 | 全体 | 15 | 55.3 |
| C-T2-10 | | | 平滑 | 全体 | 40 | 108.4 |
| C-T2-11 | | | 平滑 | 一部 | 40 | 55.1 |

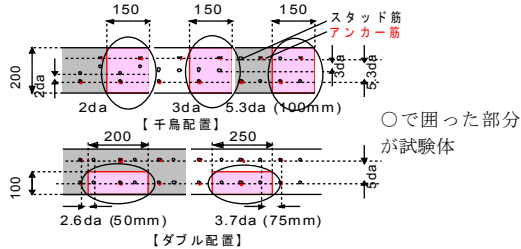


図-3 A-T2試験体詳細図

表-6 経時試験体の実験因子一覧

| 試験体 | 充填材料 | 拘束力 (kN) |
|---------|----------------|----------|
| C-T2-12 | 無収縮モルタル (蒸気養生) | 200 |
| C-T2-13 | | 200 |
| C-T2-14 | | 200 |
| C-T2-15 | UFC (蒸気養生) | 200 |
| C-T2-16 | | 200 |
| C-T2-17 | | 200 |
| C-T2-18 | 無収縮モルタル (気中養生) | 50 |
| C-T2-19 | | 50 |
| C-T2-20 | | 50 |
| C-T2-21 | UFC (気中養生) | 50 |
| C-T2-22 | | 50 |
| C-T2-23 | | 50 |
| C-T2-24 | | 50 |
| C-T2-25 | | 50 |

*: 拘束力の経時変化計測を行う

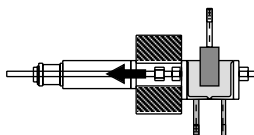


図-6 C-T2締め付け図

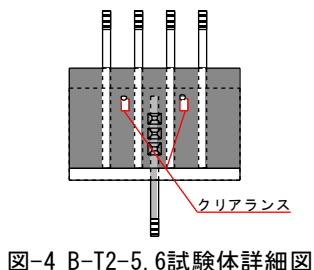


図-4 B-T2-5,6試験体詳細図

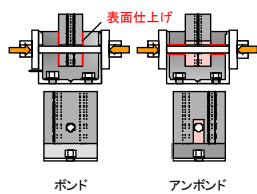


図-5 C-T2試験体詳細図

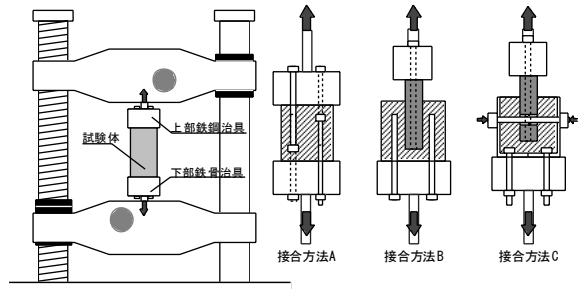


図-7 接合部要素の引張実験加力概要図

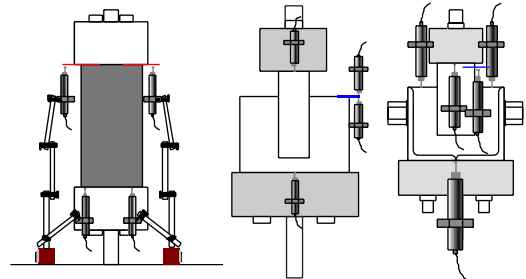


図-8 接合部要素の引張実験計測図

表-7 接合部要素試験体の材料試験結果

| UFC圧縮試験 | | UFC圧縮試験 | |
|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| B-T2-1~4, C-T2 | | A-T2, B-T2-1~4, C-T2-9~14 | |
| PCa単部 | | 充填部 | |
| 圧縮強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (N/mm ²) | 圧縮強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (N/mm ²) |
| 180.1 | 84881.2 | 149.1 | 48100.5 |
| B-T2-5&6 | | B-T2-5&6 | |
| PCa単部 | | 充填部 | |
| 圧縮強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (N/mm ²) | 圧縮強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (N/mm ²) |
| 201.2 | 84562.2 | 150.2 | 49900.2496 |
| 無収縮モルタル圧縮試験 | | 無収縮モルタル圧縮試験 | |
| C-T2-1~5 | | C-T2-1~5 | |
| 充填部 | | 充填部 | |
| 圧縮強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (N/mm ²) | 圧縮強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (N/mm ²) |
| 74.7 | 27424.5 | 74.7 | 27424.5 |
| D99288号引張試験 | | UFC割裂試験 | |
| A-T2, B-T2-1~4, C-T2 | | B-T2-1~4, C-T2 | |
| PCa単部 | | 充填部 | |
| 降伏力 (N/mm ²) | ヤング係数 (N/mm ²) | 降伏力 (N/mm ²) | ヤング係数 (N/mm ²) |
| 742.7 | 20297.8 | 441.33 | 8.8 |
| B-T2-5&6 | | B-T2-5&6 | |
| PCa単部 | | 充填部 | |
| 降伏力 (N/mm ²) | ヤング係数 (N/mm ²) | 降伏力 (N/mm ²) | ヤング係数 (N/mm ²) |
| 724.7 | 19956.1 | 401.57 | 11.1 |
| PC鋼棒引張試験 | | PC鋼棒引張試験 | |
| C-T2-1~7 | | C-T2-1~7 | |
| 降伏力 (N/mm ²) | ヤング係数 (N/mm ²) | 降伏力 (N/mm ²) | ヤング係数 (N/mm ²) |
| 1146.4 | 18806.1 | 691.14 | 6676.8 |
| C-T2-18~25 | | C-T2-18~25 | |
| 降伏力 (N/mm ²) | ヤング係数 (N/mm ²) | 降伏力 (N/mm ²) | ヤング係数 (N/mm ²) |
| 1204.4 | 197437.5 | 6676.8 | 6676.8 |

4. 実験結果

4.1 鉄筋の単体引抜き実験結果 (T1, T1' シリーズ)

耐震改修指針²⁾における設計式において、接合面におけるアンカー筋1本当たりの負担できる引張力は、鋼材の降伏耐力 T_{a1} 、コンクリートのコーン破壊耐力 T_{a2} 、付着耐力 T_{a3} のうち最も小さい値で得られる。その評価式は次式の通りである。

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

$$T_{a1} = \sigma_y \cdot a_0 \quad (式2)$$

$$T_{a2} = 0.23 \sqrt{\sigma_B} \cdot A_c \quad (式3)$$

$$T_{a3} = \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_e \quad (式4)$$

ここで、 $\tau_a = 10 \sqrt{(\sigma_B / 21)}$, $A_c = \pi \cdot l_e (l_e + d_a)$

A_c : 有効投影面積 l_e : 埋込み長さ

d_a : 鉄筋径, σ_B : コンクリート圧縮強度

本実験では、上式に基づいて全ての試験体でコーン破壊(コンクリートマトリクスの引張破壊)となるように計画していたが、T1-J, Kのような壁厚さ、埋め込み深さが大きい試験体では鉄筋降伏で耐力が決まり、充填材

料としてUFCを用いることにより引張耐力が上昇することが確認された。また、反力点間距離が近いほど引張耐力が上昇することも確認され、T1-⑤は鉄筋降伏するまで耐力が上昇した。ひび割れ性状の特徴としては、アンカー筋の一般的な破壊性状である埋め込まれた鉄筋の先端部から反力点に向かって生じるコーンひび割れではなく、埋め込まれた鉄筋の先端部から水平ひび割れが発生するのが確認された。破壊経過はこの水平ひび割れが大きく開いたときに最大耐力に達し、最大耐力に達した後は鉄筋埋込位置から鉄筋に沿ってひび割れが発生し拡幅した。また、各破壊モード（鉄筋降伏およびUFC引張破壊）における頭ナットの有無によるひび割れ性状の違いを図-9に示す。特に、破壊モードが鉄筋降伏の場合では頭ナットがあるものは水平ひび割れが多く、無いものは少ないといった頭ナットの有無によりひび割れ性状に顕著な違いが見られた。



頭ナット有り 頭ナット無し
(a) UFCが引張破壊したもの



頭ナット有り 頭ナット無し
(b) 鉄筋が引張降伏したもの

図-9 頭ナットによるひび割れ性状の違い

繊維の有無によるひび割れ性状及び耐力の違いとしては、繊維有り試験体はひび割れ発生後も繊維の抵抗により耐力が上昇するが、繊維無し試験体ではひび割れ発生と同時に脆性的に破壊することが確認された。

写真-1に繊維の有無による破壊性状の違いを示す。

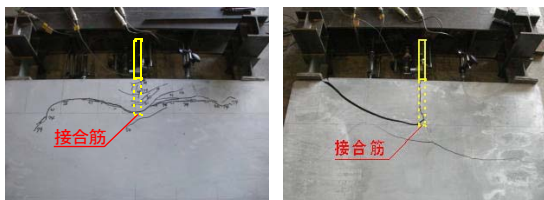


写真-1 T1&T1' 破壊性状(左:繊維あり 右:繊維なし)

試験体の最大耐力と既往の評価式(式1)との比較を図-10に示す。図-10より、既往の評価式ではUFCの実験結果をかなり安全側に評価していることがわかる。また、図-11に反力点距離と耐力の関係を示す。

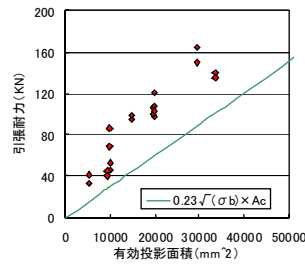


図-10 既往式による評価

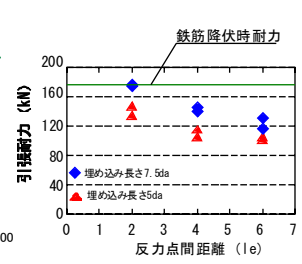


図-11 反力点距離の影響

ひび割れ性状の特徴及び既往式による耐力評価結果から、UFCに埋め込まれた鉄筋の引き抜き時の抵抗機構は通常のコンクリートのものとは異なる抵抗機構を示すものと考えられる。そこで試験部分を一点載荷型の単純梁と仮定して簡易的に図示すると図-12のようになる。この時の抵抗機構としては、埋め込まれた鉄筋の先端部における引張力、鉄筋の抜け出しに伴う付着力、鉄筋先端から支点反力に形成される圧縮ストラットが挙げられる。また、UFCのせん断強度は 12N/mm^2 と非常に高く、UFCのせん断破壊で終局状態となることは考え難い。一方、鉄筋先端部に水平に発生するひび割れ性状から、鉄筋埋込み底面においてUFCが引張破壊していると考えられる。しかし、反力点距離が狭まると、実験時の耐力は増加した。一方、付着抵抗は、 $6l_e$ のように反力点距離が広がると曲げの変形が卓越することで鉄筋位置に曲げひび割れが生じ、鉄筋の付着抵抗が低下すると考えられる。以上のことから、本実験においては、UFC底面引張抵抗と反力点間距離に応じた付着抵抗の複合的な抵抗機構が生じたものと推察される。

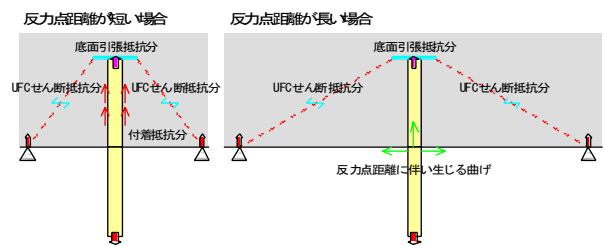


図-12 UFCに埋め込まれた鉄筋の引抜き抵抗機構

4.2 接合部要素の引張実験結果(T2シリーズ)

4.2.1 接合方法A(A-T2)

表-8に実験結果一覧を、写真-2に破壊性状をそれぞれ示す。千鳥配置の試験体ではUFC部分の引張破壊により最大耐力に達し、コーン破壊とは異なる性状を示した。一方、ダブル配置の試験体ではUFC部分が引張破壊せず、アンカー筋が降伏して最大耐力に達した。この原因は、アンカー筋及びスタッド筋をダブル配置とした場合、加力時における偏心曲げの影響を受けると推察し、アンカー筋を1本としたことによるものと考えられる。



写真-2 A-T2破壊性状(左: 千鳥 右: ダブル)

表-8 A-T2実験結果

| 試験体 | 検討配置 | アンカ(本) | スタッド(本) | 間隔 | | ラップ長さ | | 最大耐力(kN) | 破壊モード |
|--------|------|--------|---------|------|------|-------|------|----------|-------|
| | | | | (da) | (mm) | (da) | (mm) | | |
| A-T2-1 | 千鳥 | 2 | 2 | 2 | 38 | 5 | 95 | 318.9 | A |
| A-T2-2 | | 2 | 2 | 3 | 57 | 5 | 95 | 334.5 | A |
| A-T2-3 | | 2 | 2 | 5.3 | 100 | 5 | 95 | 292.8 | A |
| A-T2-4 | ダブル | 1 | 2 | 2.6 | 50 | 5 | 95 | 229.0 | B |
| A-T2-5 | | 1 | 2 | 3.9 | 75 | 5 | 95 | 226.7 | B |

A: UFC引張破壊 B: 鉄筋降伏

4.2.2 接合方法B(B-T2)

表-9に実験結果一覧を、写真-3に破壊性状をそれぞれ示す。面外変形拘束に抑え筋を配した試験体ではアンカー筋降伏まで応力を伝達できることが確認されたが、充填材貫通コッターのみを配した試験体は充填材貫通コッターがシアオフ破壊を起こし、充填部分が面外方向に開き、急激に耐力低下した。このことから接合面を拘束するためには抑え筋を併用するのが望ましい。なお、充填材貫通コッターの個数と耐力には比例関係が見られ、充填材貫通コッター1個当たり約80kN程度の耐力が見込めることが分かった。また、コッター数を減らした抑え筋型の試験体(B-T2-5,6)はコッターの抵抗が見られず、プレキャストUFC壁全体が接合筋埋め込み位置に沿って引張破壊することで最大耐力に達した。B-T2-5,6の実験終了後の切断写真を写真-4に示す。

表-9 B-T2実験結果

| 試験体 | ラップ長さ | | 抑え筋 | コッター数 形状 | | | 最大耐力(kN) | 破壊モード |
|--------|-------|------|-----|----------|----|-------|----------|-------|
| | (da) | (mm) | | 行 | 列 | 種類 | | |
| B-T2-1 | 10 | 190 | 鉄筋 | 4 | 10 | 四角 | 417.4 | A |
| B-T2-2 | 10 | 190 | — | 2 | 1 | 円(貫通) | 174.9 | B |
| B-T2-3 | 15 | 285 | 鉄筋 | 6 | 10 | 四角 | 418.1 | A |
| B-T2-4 | 15 | 285 | — | 3 | 1 | 円(貫通) | 253.9 | B |
| B-T2-5 | 10 | 190 | 鉄筋 | 3 | 1 | 四角 | 350.8 | C |
| B-T2-6 | 10 | 190 | 鉄筋 | 3 | 2 | 四角 | 329.2 | C |

A: 鉄筋降伏 B: 貫通コッターシアオフ破壊 C: PCaUFC壁引張破壊



写真-3 B-T2破壊性状(左: B-T2-1 右: B-T2-2)



写真-4 B-T2切断写真(左: B-T2-5 右: B-T2-6)

4.2.3 接合方法C(C-T2)

表-10に実験結果一覧を、写真-5~7に破壊性状をそれぞれ示す。破壊モードとしては、鋼製アングルの降伏(C-T2-11,13,14)、接合面の滑り破壊(C-T2-5)、接合面の滑り後に壁部が引張破壊(その他の試験体)が見られた。また、充填材料に高強度無収縮モルタルを用いたものは、接合面の滑りに伴い充填材料部分にひび割れが生じた。充填材料による違いはUFCを用いたものが最大耐力が高く、繰り返し载荷時の耐力低下も少なかった。ボンドの試験体については充填材料にUFCを用いた場合、表面仕上げ(コッターの有無)を変えることでアングル降伏と壁部引張破壊の異なる破壊モードが見られた(図-13)。アンボンドの試験体については、充填材料に関わらず変形がクリアランス以下の範囲において、摩擦力で抵抗していた(図-14)。静止摩擦係数はUFCで約0.9程度、無収縮モルタルで約0.7程度とUFCの方が高い値を示したが、滑り後の摩擦係数は0.5程度とほぼ等しかった(図-15)。拘束力については50kNでは壁部引張破壊、100kNではアングル降伏となり、拘束力によって破壊モードが変化することが確認された。

表-10 C-T2実験結果

| 試験体 | 充填材料 | ボルト固定条件 | 表面仕上げ | 充填 | クリアランス(mm) | 拘束力(kN) | 最大耐力(kN) | 破壊モード |
|---------|---------|---------|--------|----|------------|---------|----------|-------|
| | | | | | | | | |
| C-T2-1 | 無収縮モルタル | ボンド | テフロン | 全体 | 0 | 00 | 64.9 | B |
| C-T2-2 | | | 平滑 | 全体 | 0 | 58.4 | 130.8 | B |
| C-T2-3 | | | 平滑コッター | 全体 | 0 | 54.3 | 127.8 | B |
| C-T2-4 | | | 平滑 | 全体 | 15 | 54.6 | 94.3 | C |
| C-T2-5 | UFC | アンボンド | 平滑 | 全体 | 40 | 54.1 | 108.6 | C |
| C-T2-6 | | | テフロン | 全体 | 0 | 00 | 71.7 | B |
| C-T2-7 | | ボンド | 平滑 | 全体 | 0 | 52.2 | 130.8 | B |
| C-T2-8 | | | 平滑コッター | 全体 | 0 | 53.9 | 226.1 | A |
| C-T2-9 | | | 平滑 | 全体 | 15 | 55.3 | 99.9 | C |
| C-T2-10 | | アンボンド | 平滑 | 全体 | 40 | 108.4 | 202.4 | A |
| C-T2-11 | | | 平滑 | 一部 | 40 | 55.1 | 186.6 | A |

A: 鉄製アングル降伏 B: 壁部引張破壊 C: 接合面滑り破壊

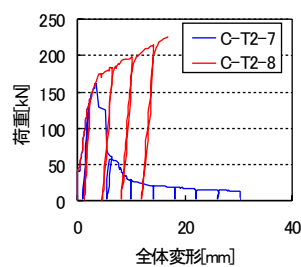


図-13 表面仕上げの違い

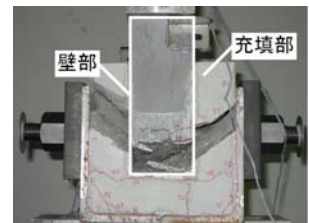


写真-5 壁部引張破壊モルタル充填の場合

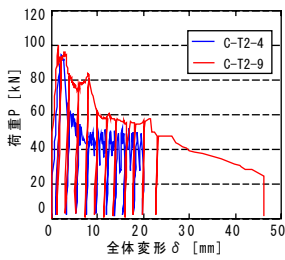


図-14 アンボンド
充填材料の違い

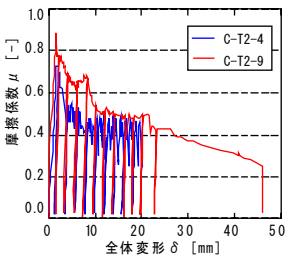


図-15 摩擦係数

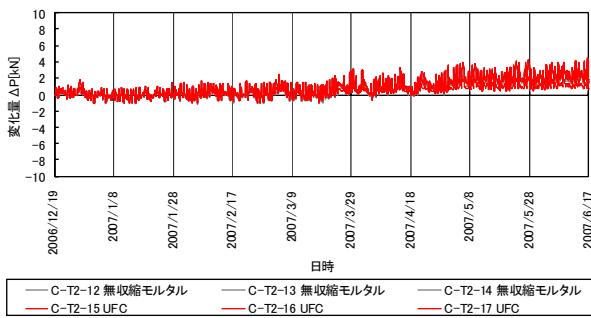


図-16 経時変化量 (蒸気養生の場合)

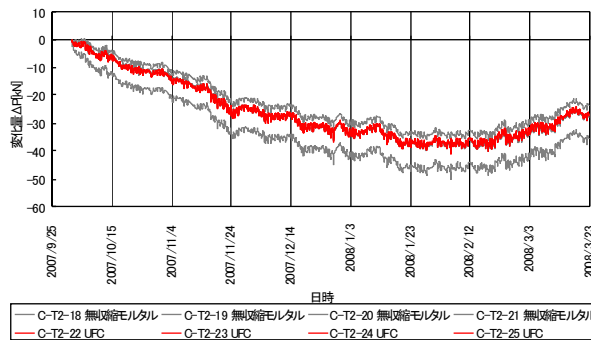


図-17 経時変化量 (気中養生の場合)

また、PC鋼棒の拘束力の蒸気養生済の経時変化量は小さく、また、充填材料による差異は見られなかったが、気中養生では拘束力が材料の収縮によって徐々に低下し、最終的に拘束力は10kN程度まで抜けた。また、UFCの試験体では、各試験体がばらつき無しで1ヶ月12kN(歪み 175 μ)程度変化したのに対し、無収縮モルタルの試験体では各試験体にばらつきがあり、それぞれ10~20kN(歪み 125~250 μ)の間で変化した。これらのことか



写真-6 壁部引張破壊
UFC充填の場合

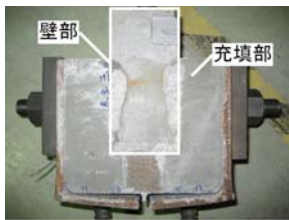


写真-7 アングル降伏

ら接合方法Cについては、PC鋼棒による拘束力管理に注意する必要があるものと考えられる(図-16, 17)。

5. まとめ

UFC及び高強度無収縮モルタルを充填部に使用したプレキャスト部材接合部の引張性能に関する実験を行い以下の結果が得られた。

- 1) UFCに埋め込まれたアンカー筋の単体引抜き実験の結果、既往の耐震改修指針の評価式では耐力を過小評価すること、埋め込んだ鉄筋先端に水平方向のひび割れが確認され、通常のコンクリートとは異なる抵抗機構となることが確認された。
- 2) 充填材料を介してアンカー筋とスタッド筋の応力伝達に期待する接合方法Aの接合部引張実験の結果、コーン破壊は見られず、接合部全体が引張破壊するような破壊性状が確認された。
- 3) プレキャストUFC壁を充填材料に定着させ、接合面のコッターに応力伝達を期待する接合方法Bの接合部引張実験の結果、コッターとともに、面外変形の拘束用に接合筋を併用することで非常に高い引張性能を実現できることが確認された。
- 4) PC鋼棒による圧着力に応力伝達を期待する接合方法Cの接合部引張実験の結果、接合面の表面仕上げおよび圧着力を適切に選定することにより破壊モードを制御できる可能性が確認された。また、それぞれの充填材料の収縮性能についても確認した。

謝辞：本検討は、(独)建築研究所の研究課題「耐震化率向上を目指した普及型耐震改修技術の開発(H18-20)」の鉄筋コンクリート造分科会(主査：勅使川原正臣)にて行われた。また、本実験では、東京鐵鋼株式会社及び高周波熱錬株式会社から材料の提供を受け、さらに本実験の実施は、東京理科大学衣笠研究室の近藤誠一郎君、北代尚稔君他学生諸氏の多大な協力を得た。以上の関係者に謝意を表す。

参考文献

- 1) 白井一義, 渡邊烈, 土肥哲生, 田子茂, 太田勤, 向井智久, 諏訪田晴彦, 福山洋, 野村設郎: UFCを用いたプレキャスト壁による耐震補強に関する実験的研究(その4, その5), 日本建築学会学術講演梗概集C-2分冊, pp.557-560, 2006.9
- 2) 財団法人日本建築防災協会: 2001年度改訂版 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