

超高強度繊維補強コンクリートを用いたプレキャスト部材間のせん断伝達耐力

鹿島建設株式会社 正会員 工修 ○ 平 陽兵
 鹿島建設株式会社 正会員 工修 一宮 利通
 鹿島建設株式会社 工修 松原 功明
 鹿島建設株式会社 工修 渡邊 有寿

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート (以下、UFC) を用いた橋梁構造形式として、工場製作したプレキャスト部材 (以下、PCa 部材) を現地で接合する方法が考えられる。この場合、部材間に作用するせん断力を伝達するために接合部にせん断キーを設けることが一般的である。接合部のせん断伝達耐力については、コンクリート標準示方書¹⁾で設計せん断伝達耐力の算定式 (以下、示方書式) が示されている。また、超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案)²⁾ (以下、UFC 指針) では、参考資料において UFC を用いた場合のせん断伝達耐力に関する示方書式の適用性について記述されている。

本研究では、UFC 指針に準拠して設計・施工が可能であるエトリンガイト生成系 UFC³⁾を用いた PCa 部材間を、現場打ちの UFC で接合するウェットジョイントを想定して、せん断伝達耐力に関する示方書式の適用性を検討するために実験的検討を行った。

2. 実験概要

実験は試験体形状寸法が異なる小型模型実験と大型模型実験の2つのシリーズについて行った。小型模型実験は、UFC 指針の参考資料を参考として決定した形状で、高さ方向に1個のせん断キーを有するものである。次に、実構造物を想定して断面形状を大きくし、高さ方向に2段のせん断キーを配置した大型模型実験を行った。本実験では、PCa 部材をプレストレスにより一体化することを想定していることから、両シリーズとも接合面に垂直な軸圧縮応力度を作用させて実験を行った。

2. 1 小型模型実験

表-1 に試験体の種類を示す。せん断キーの有無および接合面の垂直応力度 (軸圧縮応力度) の大きさをパラメータとして実施した。図-1 に試験体の形状を示す。試験体は 100mm×200mm の断面を有する3個の PCa 部材を 30mm の間隔をあけてウェットジョイントで接合したものである。試験体内に鉄筋は配置していない。

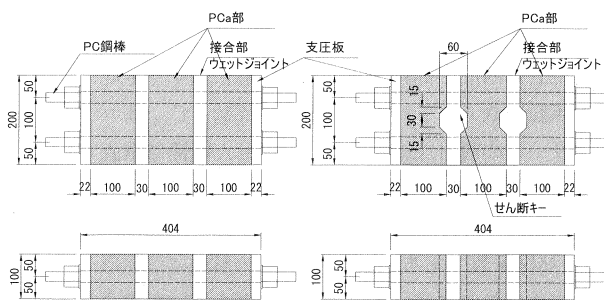
いずれの試験体も接合面は型枠面で平滑のままとし、せん断キーありの試験体は接合面に1段のせん断キーを設けた。

実験は、試験体内に通した PC 鋼棒を緊張して試験体に所定の軸圧縮応力を導入した後、2,000kN 万能試験機を用いて中央の PCa 部材に鉛直荷重を静的に単調載荷した。写真-1 に載荷状況を示す。

PCa 部材及びウェットジョイントに用いた UFC の配合を表-2 に示す。また、表-3 に実験時の UFC 強度を示す。

表-1 試験体の種類 (小型模型)

試験体名	せん断キー	軸圧縮応力 σ'_{nd}
N-15	なし	15N/mm ²
N-30		30N/mm ²
K-15	あり	15N/mm ²
K-30		30N/mm ²



N (せん断キーなし) K (せん断キーあり)
 図-1 試験体形状図 (小型模型)

2. 2 大型模型実験

表-4 に試験体の種類を示す。本実験は、接合面の軸圧縮応力度を変えた 2 体について実施した。2 体とも平均軸圧縮応力度は同じであるが、偏心させずに作用させた場合と、下縁の圧縮応力度がほぼ 0 となるように偏心させた場合とした。図-2 に試験体の形状を示す。小型模型実験と同様、3 つの PCa 部材をウェットジョイントで接合した形状とした。PCa 部材は接合面の断面を 150×500mm として部材間が 50mm のウェットジョイントとした。せん断キーは高さ方向に 2 段とした。

載荷方法は、小型模型実験と同様に中央の PCa 部材を載荷位置とする 2 面せん断実験とした。軸圧縮応力度は、試験体の側面から油圧ジャッキによって作用させ、偏心の有無に関わらず作用荷重を同一として一定に制御しながら鉛直荷重を単調増加させた。油圧ジャッキの位置は偏心なしの場合は高さ方向の中央、偏心ありの試験体は偏心量を 80mm とした。UFC の配合は表-2、実験時の UFC 強度は表-3 に示す通りである。

3. せん断伝達耐力算定式

接合面のせん断伝達耐力の示方書式は、軸力による摩擦力とせん断キーの耐力の和として与えられる。この式は、せん断キーの形状によって破壊形態（支圧破壊、せん断破壊）が異なることが考慮されていない⁴⁾が、普通コンクリートでは一般に用いられている示方書式が UFC に対しても適用可能であるかを把握するために、本式によって実験結果を評価した。せん断面に鉄筋が配置されていない場合で接合面に圧縮応力が作用する場合のせん断伝達耐力 V_{cnd} を求める示方書式は、次の通りである。

$$V_{cnd} = (\tau_c \cdot A_c + V_k) / \gamma_b \quad (1)$$

ここで、 $\tau_c = \mu \cdot f'_{cd} \cdot b \cdot (\sigma'_{nd}/2)^{1-b}$

$$V_k = 0.1 A_k \cdot f'_{cd}$$

A_c はせん断面の面積、 μ は固体接触に関する平均摩擦係数で 0.45、 b は面形状を表す係数、 f'_{cd} はコンクリートの設計圧縮強度、 σ'_{nd} はせん断面に垂直に作用する平均圧縮応力度、 V_k はせん断キーによるせん断耐力、 A_k はせん断キーのせん断面の断面積、 γ_b は部材係数である。なお、示方書の解説には面形状を表す係数 b について、打継面処理を省いた場合には 2/5 としてよいとあり、本実験の評価も $b=2/5$ として行った。また、部材係数は $\gamma_b=1.0$ とした。

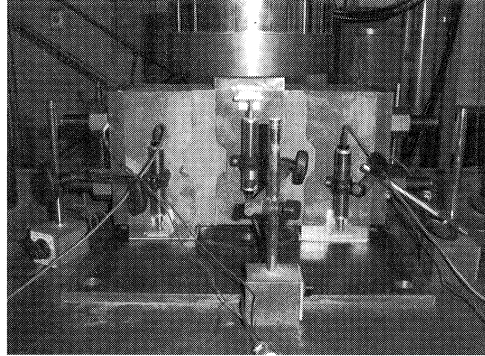


写真-1 載荷状況

表-2 UFC の配合

水	単位量 (kg/m ³)			鋼繊維 (kg)
	結合材	骨材	高性能減水剤	
195	1287	905	38.6 (結合材×3.0%)	137.4

表-3 UFC 強度一覧

実験種類	部位	圧縮強度 N/mm ²	ヤング係数 kN/mm ²	曲げ強度 N/mm ²
小型模型	PCa 部	190	48.3	25.2
	接合部	182	44.6	28.6
大型模型 LK-30N	PCa 部	198	46.3	—
	接合部	197	46.2	36.9
大型模型 LK-30	PCa 部	184	46.5	—
	接合部	200	46.3	36.9

表-4 試験体の種類 (大型模型)

試験体名	せん断キー	平均軸圧縮応力 σ'_{nd}	偏心
LK-30N	あり	30N/mm ²	なし
LK-30			あり

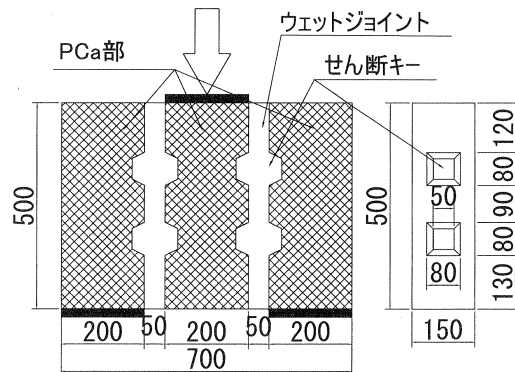


図-2 試験体形状 (大型模型)

4. 実験結果

4. 1 小型模型実験

実験結果及び示方書式から算定される計算結果の一覧を表-5に示す。また、作用せん断力と鉛直変位の関係をせん断キーの有無で分け図-3と4にそれぞれ示す。グラフの縦軸は接合面に作用するせん断力であり、載荷荷重の1/2である。載荷によって、軸圧縮応力導入用のPC鋼棒の軸力は、上段はほとんど変化なく、下段は増加する傾向があった。よって、計算耐力における軸圧縮応力度は最大荷重時のPC鋼棒ひずみから換算して求めた。

せん断キーがない場合、鉛直変位が約0.2mmの時に一旦荷重が低下したが接合面でのすべりは確認できなかった。その後、接合面がずれることにより最大荷重に達した。最終状況を写真-2に示す。載荷位置からジョイント部に斜めひび割れが発生し、接合面のずれへとつながっていた。最大せん断伝達耐力は示方書式から求められる計算耐力をそれぞれ37% (N-15), 34% (N-30) 上回っており、示方書式で安全側に評価可能であった。

せん断キーがある場合は、変位が0.4mmを超えてから最大荷重に達し、せん断キーの破壊により荷重が低下した。試験体の最終状況を写真-3に示す。最終的な破壊位置はジョイントのせん断キー部分で、載荷点と支点を結ぶ方向に斜めひび割れが発生した。最大せん断伝達耐力は示方書式から求められる計算耐力をそれぞれ3% (K-15), 26% (K-30) 上回っており、せん断キーがない場合と同様に示方書式で安全側に評価可能であった。

次に軸圧縮応力度による影響を検討するために、図-5に軸圧縮応力度とせん断伝達耐力の関係を示す。せん断キーがない場合の実験値は、計算耐力と同様に軸圧縮応力度が大きくなることによって増加しており、その増分もよく一致した。

せん断キーがある場合の実験値は、軸圧縮応力の増加

表-5 実験結果一覧

試験体名	最大せん断伝達耐力 (kN)	計算耐力 ※ (kN)	実験値 / 計算値
N-15	317	231	1.37
N-30	454	339	1.34
K-15	370	360	1.03
K-30	593	470	1.26
LK-30N	2,365	1,880	1.26
LK-30	2,096	1,880	1.11

※UFC強度は材料試験結果を用いた。

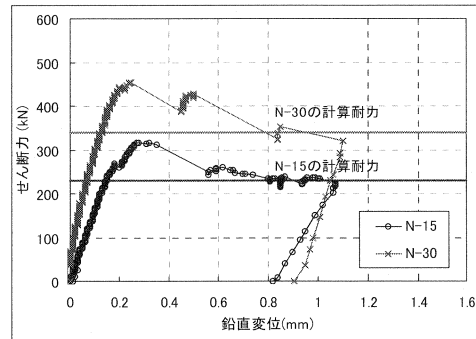


図-3 荷重-変位関係 (せん断キーなし)

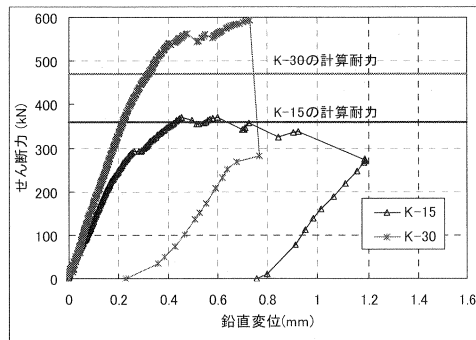


図-4 荷重-変位関係 (せん断キーあり)

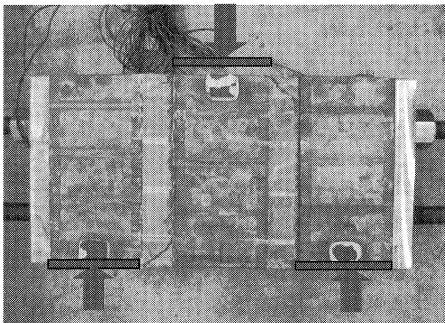


写真-2 最終状況 (N-30)

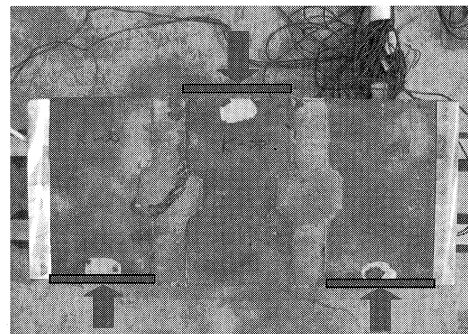


写真-3 最終状況 (K-30)

によって耐力は増加しているが、増加の割合が計算と異なる結果となった。せん断キーの有無による耐力差がせん断キーによる耐力とすると、実験結果は軸圧縮応力 15N/mm^2 の場合 53kN (=370-317) であるのに対し、計算値は図-5中の矢印で示す 110kN であり、実験値は計算値の 48%であった。一方、軸圧縮応力 30N/mm^2 の場合には 139kN (=593-454) であり計算値以上の耐力が得られた。軸圧縮応力が異なればせん断キーによる耐力も異なると考えられるが、示方書式では圧縮強度とせん断キーのせん断面の面積に比例するとされており、本実験の破壊モードを表せてないと思われ、耐力評価を精度よく行うためにはより詳細な検討が必要である。しかしながら、UFCを用いた場合、軸圧縮応力度が大きい状態で使われることが想定され、示方書式における摩擦係数がせん断キーによる耐力よりも相対的に大きくなることから、せん断伝達耐力としては実用上示方書式により算定可能と思われる。

4. 2 大型模型実験

大型模型による実験結果を表-5に、また作用せん断力と鉛直変位の関係を図-6に示す。最大せん断伝達耐力は偏心させない場合(LK-30N)が $2,365\text{kN}$ であり、示方書式で算出した計算耐力 $1,880\text{kN}$ を上回った。実験値と計算耐力の比は 1.26 とせん断キーが1段の小型模型試験体と同程度であり、せん断キーが2段配置の場合にも各段が有効に機能することが確認された。偏心させた場合(LK-30)の最大せん断伝達耐力は $2,096\text{kN}$ であり、偏心させたことによる耐力低下は 11%であったが示方書式で算出したせん断キーありのせん断伝達耐力を上回った。これより、偏心により接合面の圧縮応力状態が均一でない場合でも、本実験の形状及び軸圧縮応力度においては示方書式が適用できることを確認した。

5. まとめ

エトリングait生成系超高強度繊維補強コンクリートで接合したプレキャスト部材間のせん断伝達耐力を実験により求めた結果、実験値はコンクリート標準示方書に示されるせん断伝達耐力算定式により安全側に算定可能であった。ただし、せん断キーによる耐力についてはより詳細な検討が必要であり、設計に当たっては留意すべきである。せん断キーを高さ方向に2段配置とした場合は、1段配置と同様に各せん断キーが有効に機能しコンクリート標準示方書の算定式で安全側に算定可能なこと、また、軸圧縮応力度を偏心させて与えた場合も同様に算定可能であることを確認した。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書【構造性能照査編】，2002
- 2) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)，2004.9
- 3) 一宮利通ほか：エトリングait生成系超高強度繊維補強コンクリートの構造性能，プレストレストコンクリート，Vol.48, No.5, pp66-72, 2006
- 4) 土木学会：プレキャストコンクリート部材の力学的特性，コンクリート技術シリーズ43, 2001

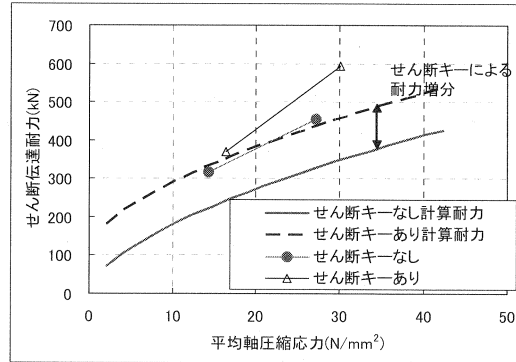


図-5 軸圧縮応力度とせん断伝達耐力の関係

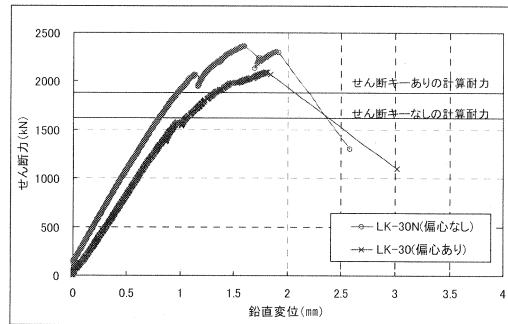


図-6 荷重-変位関係