

モルタル目地を有するUFC製プレキャスト型枠を用いた RC橋脚の二方向載荷実験と解析

金光嘉久¹・山野辺慎一²・河野哲也³・川島一彦⁴・松崎裕⁵・市川翔太⁶

¹正会員 修（工） 鹿島建設株式会社 技術研究所（〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1）

²正会員 博（工） 鹿島建設株式会社 技術研究所（〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1）

³正会員 修（工） 鹿島建設株式会社 土木管理本部（〒107-8348 東京都港区赤坂6-5-11）

⁴正会員 工博 東京工業大学教授 大学院理工学研究科（〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1）

⁵正会員 博（工） 東京工業大学助教 大学院理工学研究科（〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1）

（現東北大学助教 大学院理工学研究科 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06）

⁶学生会員 東京工業大学 大学院理工学研究科（〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1）

（現東日本高速道路株式会社 新潟支社 上越管理事務所 〒943-0173 新潟県上越市大字富岡字引田1717-1）

1. はじめに

大規模な地震の直後に、上部構造を支えるRC橋脚のコンクリートが圧壊するような損傷となった場合、曲げ耐力や軸力を保持する機能が低下するため、橋脚の使用性が損なわれてしまう。これに対し、地震後の早期の救援や復旧体制の確立のためには、RC橋脚の損傷が、大規模な地震に対しても軽微な範囲となることが求められるとともに、河川内の橋脚や中央分離帯に配置される橋脚のように、地震後の点検すら困難となる場所に適用できるような、ダメージフリー橋脚構造の開発が求められている。

一方で、矩形のRC橋脚が水平二方向および鉛直方向の地震力を受けた場合、橋脚のじん性は、一方向のみを考慮した場合に比べて低下することが知られている^{1),2)}。このような複雑な損傷過程を示す水平二方向の地震力に対してもコンクリートの圧壊を防ぐことが、RC橋脚の地震直後における使用性を確保する上で重要となる。

これに対して、著者らは、高い圧縮強度と曲げ強度を有するコンクリート系材料である超高強度繊維補強コンクリート（UFC）を、プレキャスト型枠として躯体基部に適用したRC橋脚（以下、UFC橋脚と称する）を提案している³⁾。そして、本構造が、二方向からの外力に対しても、高い変形性能を有することを既に実証している⁴⁾。この橋脚の基本的な考え方は、塑性ヒンジ区間のかぶりをUFC製プレキャスト型枠で高強度化し、地震時における曲げ圧縮応力のかぶり部分で負担させることにより、コアコ

ンクリートは無損傷として、橋脚全体の耐震性能や変形性能を確保することである。さらに、二方向からの曲げに対しては、UFC製プレキャスト型枠の隅角部のかぶり厚を大きくすることで、同部の損傷の進展を抑制することを可能としている。

また、UFC橋脚は、UFC製プレキャスト型枠に層状の水平目地を設けることで、地震時の曲げひび割れを分散し、できるだけ特定の断面への損傷の集中を防ぐ構造としている。本構造の水平目地として、これまでは、金網を層状に敷設してUFCの鋼繊維を分断することを検討していたが⁴⁾、同区間のひび割れ発生箇所が2～3本程度と、想定以下の本数であったため、鉄筋の損傷が早まり、UFC橋脚の特性を最大限生かしきれていない可能性があった。そこで、筆者らは、安定した曲げひび割れ本数を確保できる水平目地として、UFC製プレキャスト型枠をモルタルにより積層する目地を考案した。

本研究では、モルタル目地を有するUFC部材の圧縮特性把握のための圧縮試験、モルタル目地を有するUFC橋脚の縮小模型を用いた二方向載荷実験、また、同試験体のファイバーモデルによる再現解析を行った。

2. モルタル目地を有するUFC橋脚

(1) UFC製プレキャスト型枠とUFC橋脚

UFC橋脚は、図-1に示すようなUFC製プレキャスト型枠を、塑性ヒンジ区間に適用することにより、同区間のかぶりをUFCとしたものである。本研究で

対象としたUFCは、エトリンサイト生成系のコンクリート材料であり、 $180\sim 200\text{ N/mm}^2$ 級の圧縮強度が得られ、また、直径 0.2 mm 、公称長さが 20 mm と 15 mm の鋼繊維を混合して体積比で 1.75% 混入することにより、 15 N/mm^2 程度の引張強度を得ることができる⁵⁾。養生方法は、 20°C の気中養生を24時間実施し、その後、 85°C の蒸気養生を24時間行うことを基本とする。表-1に本研究で用いたUFCの基本配合を示す。

RC橋脚のように地震時に曲げと軸力が作用するRC部材では、引張側の軸方向鉄筋の降伏後に最外縁となる圧縮側のかぶりコンクリートが圧壊し、その損傷がコアコンクリートに進展することにより終局を迎える。この時、高強度を有するUFCでかぶりが構築されていれば、同部分の圧壊を抑制できる。また、軸方向鉄筋が鋼繊維を有するUFCで拘束されることにより、その座屈についても遅延化できる。さらに、UFC製プレキャスト型枠には、水平方向に一定の間隔でひび割れ誘発目地を設けておき、UFC製プレキャスト型枠の適用区間に複数の曲げひび割れを発生させる。これにより、UFC製プレキャスト型枠を適用した区間では、安定した高い変形性能が期待できる。

UFC橋脚はこのように、UFC製プレキャスト型枠を用いて、塑性ヒンジ部のみの変形性能を向上させることで、比較的高価であるUFCの使用量を抑えつつ、橋脚全体の耐震性、変形性能を高めることができる。

(2) 二方向からの曲げに対するUFC製プレキャスト型枠

二方向から曲げが作用する場合、橋軸方向、橋軸直角方向の各軸に対する曲げモーメントによる応力が重なることにより、隅角部が圧縮縁、引張縁となるような応力分布となる。そのため、二方向からの曲げに対しては、隅角部におけるコンクリートや鉄筋から圧壊や座屈が始まり、それが断面の内部に進展していくという破壊過程となり、一方向からの曲げが作用した状態に比べて変形性能が小さくなる。

逆に言えば、二方向からの地震動、曲げに対して、RC橋脚の変形性能を確保するためには、最外縁の隅角部の損傷を抑制することが必要であり、UFC製プレキャスト型枠を適用することによって、同部分をUFCで構築することは有効な手段の一つとして考えられる。例えば、UFC製プレキャスト型枠を図-3に示すように、内面の形状を八角形とすることにより、隅角部の厚さを二方向からの曲げに対応した大

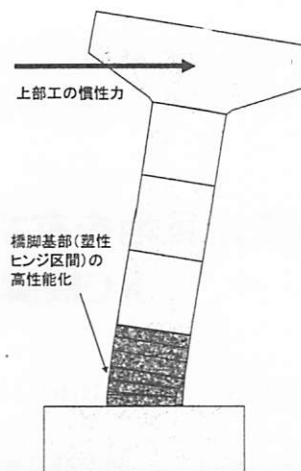


図-1 UFCを用いたRC橋脚

表-1 UFCの配合例

空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)				鋼繊維 (kg)
	水*	プレミックス 結合材**	骨材	混和剤	
2	205	1,288	911	51.25	137.4

* 混和剤の水分を含む。

** ポルトランドセメント、およびボゾラン材、エトリンサイト生成系混和材からなる。

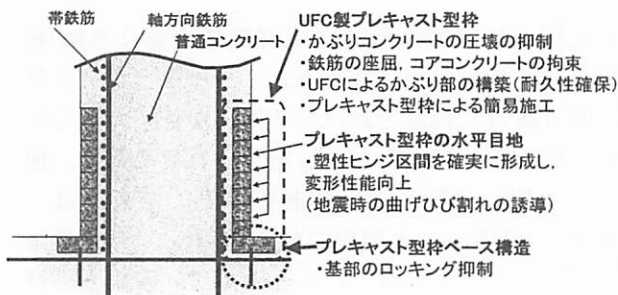


図-2 UFC製プレキャスト型枠による塑性ヒンジ構造

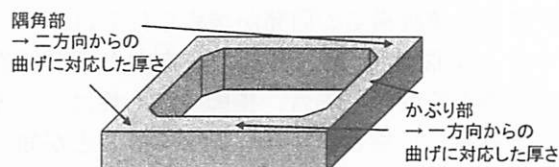


図-3 二方向の曲げに対応したUFC型枠

きさに設定できる。

(3) モルタル目地を有するUFC部材の力学的特性

UFC製プレキャスト型枠をモルタルにより積層することにより、UFC単体の部材と比較して圧縮特性が変化する可能性がある。そこで、モルタル目地を有する圧縮供試体を製作し、圧縮特性の把握を行った。目地に用いたモルタルは、材齢28日で約 110 N/mm^2 程度の強度が得られるプレミックスタイプのもので、最大骨材寸法 2.4 mm である。また、目地厚さには4種類のパラメータを設け、圧縮特性の相違の確認を行った。圧縮試験に用いた供試体の一覧を

表-2に、供試体の形状を図-4に、製作状況を写真-1に示す。また、圧縮試験結果を表-3に、圧縮応力度-ひずみ関係を図-5に、試験体No.2～No.5の破壊性状を写真-2に示す。

この結果から、UFC単体の圧縮強度に比べ、全てのモルタル目地を有する供試体で、最大圧縮応力が低下していること、また、モルタル目地が厚くなるに従い、最大圧縮応力が低下していることがわかる。さらに、モルタル目地を有する試験体では、最大圧縮応力時のひずみが、UFC単体に比べ大きくなることがわかった。後述するが、橋脚の縮小模型試験体に用いたモルタル目地厚さは、約2 mmであったことから、そのUFC製プレキャスト型枠部分は、本圧縮試験の試験体No.2に近い圧縮特性を有していたと考えられる。

破壊性状は、試験体No.2ではUFC部材のモルタルとの接合面に剥離が発生するとともに、UFC部材に大きな割裂ひび割れが発生し、水平目地部のモルタルは軽く損傷している部分が見られる程度であった。試験ケースNo.3では、No.2と同様に、中間層のUFC部材に大きな割裂ひび割れが発生していた。また、試験体No.4やNo.5では、モルタル部表面の損傷が確認されたが、UFC部材にも縦方向に割裂ひび割れが発生していた。以上より、破壊はUFC部材の割裂ひび割れが支配的であると考えられるが、目地厚さが8 mm程度以上になった場合、UFC部材の割裂とモルタルの圧縮破壊が複合的に発生している可能性も考えられる。

3. 二方向載荷実験の概要

(1) 試験体

試験体は、道路橋のRC橋脚を想定して試設計したUFC橋脚の1/4.25模型である。断面は400×400 mmの正方形断面であり、軸方向鉄筋としてSD345-D13、D10鉄筋を配置し、試験体高さは、橋脚基部から載荷点までを1,370 mmとした。UFC製プレキャスト型枠は、一層あたりの高さが約49 mmのUFC製プレキャスト型枠を、厚さ約2 mmのモルタルにより積み重ねることで製作し、基部から約1.25D区間（508 mm）に適用した（写真-3）。モルタルの材料は、最大粗骨材寸法が2.4 mmであったが、試験体サイズに対して若干大きいと考えられたため、径が1.2 mm以上の骨材をふるいを用いて取り除いた後に使用した。また、目地には、厚さ管理のスペーサは設置していない。帯鉄筋については、曲げ破壊先行型であることを確認し、SD345-D6鉄筋を、各UFC製プレ

表-2 圧縮供試体一覧

試験ケース	UFC強度 (N/mm ²)	UFC弾性係数 (kN/mm ²)	モルタル強度 (N/mm ²)	モルタル弾性係数 (kN/mm ²)	1層あたりの水平目地管理厚さ (mm)	直径 (mm)
No.	f_{ufc}	E_{ufc}	f_m	E_m	t	D
1	191.9	45.7	108.5	35.9	—	100
2					2.4	100
3					5.0	100
4					8.0	100
5					12.0	100

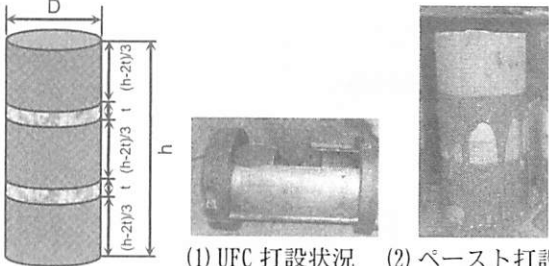


図-4 試験体形状

写真-1 試験体の製作状況

表-3 圧縮試験結果

試験ケース	目地構造試験体強度 (N/mm ²)	目地構造試験体弾性係数 (kN/mm ²)	F_{um}/f_{ufc}	E_{um}/E_{ufc}	F_{um}/f_m	E_{um}/E_m
No.	F_{um}	E_{um}				
1	191.9	45.7	—	—	—	—
2	176.9	42.1	0.92	0.92	1.63	1.17
3	166.4	42.2	0.87	0.92	1.53	1.18
4	161.5	40.8	0.84	0.89	1.49	1.14
5	152.7	42.0	0.80	0.92	1.41	1.17

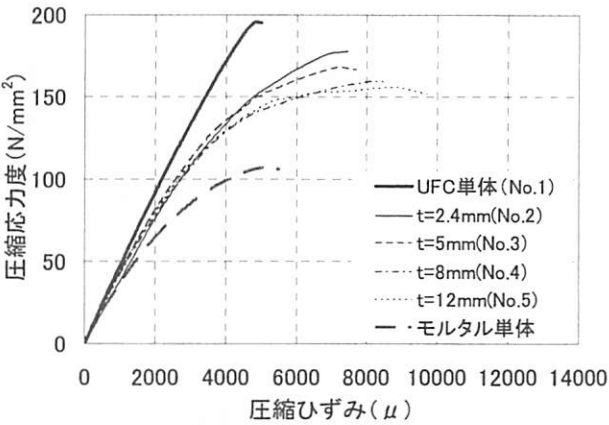


図-5 圧縮応力度 - ひずみ関係

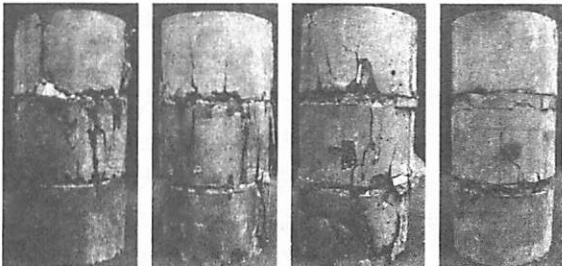
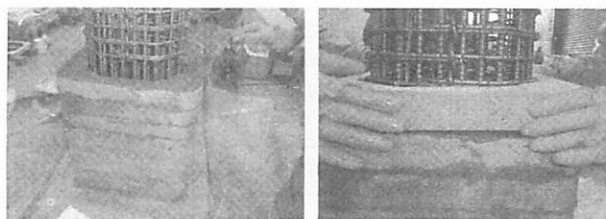


写真-2 試験体 No. 2～No. 5 の破壊性状



(1) モルタルの塗布 (2) 型枠の設置

写真-3 UFC 製プレキャスト型枠区間製作状況

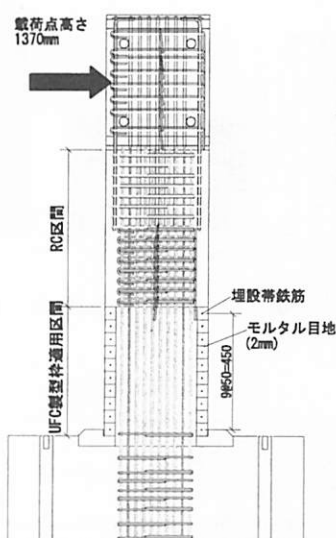


図-6 UFC製プレキャスト型枠を用いた橋脚

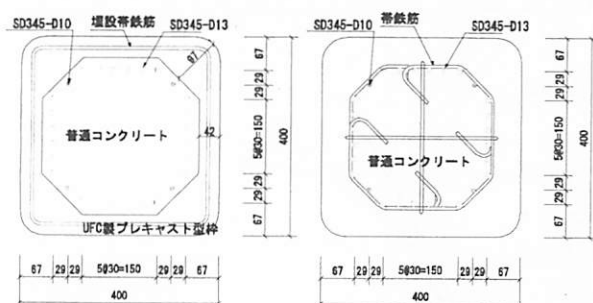


図-7 UFC 橋脚の断面図

キャスト型枠内に埋設した。間隔としては、50 mmとなる。なお、UFC製プレキャスト型枠の適用区間については、中間帯鉄筋は配置していない（以下、モルタル目地試験体）（図-6）。

UFC製プレキャスト型枠は、二方向の曲げを想定して、八角形の中空部を有する形状とした。直線部の厚さについては、一方向の曲げと軸力による圧縮応力度をかぶりのみで負担できる大きさである42 mmとした。また、隅角部の厚さについては、二方向からの曲げと軸力による圧縮応力度を、同部分で負担できる大きさとして97 mmとした(図-7)。

表-4～表-6に、各材料の材料試験結果を示す。

表-4 鋼材の材料試験結果

鋼材の種類	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
軸方向鉄筋 SD345 D13	406	575	184
軸方向鉄筋 SD345 D10	386	552	193
帯鉄筋, 中間帯鉄筋 SD345相当 D6	352	504	191

表-5 コンクリートの材料試験結果

	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
柱部	47.5	28.2
フーチング部	34.9	25.1
モルタル	91.8	25.3

表-6 UFC の材料試験結果

圧縮強度(N/mm ²)	弾性係数(kN/mm ²)	曲げ引張強度(N/mm ²)
191.9	45.7	32.7

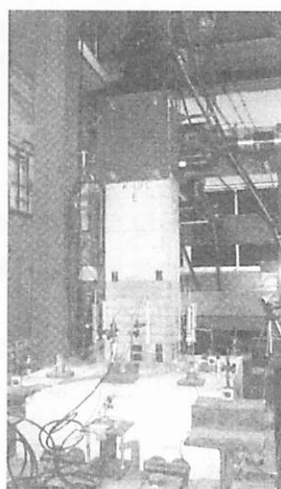


写真-4 载荷装置

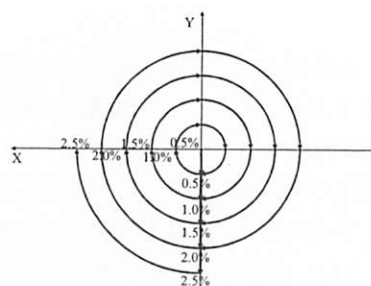


図-8 載荷変位のオービット図

(2) 載荷方法

試験体への加力は、東京工業大学の耐震実験施設内の3軸載荷装置を用いて行った(写真-4)。本装置は、水平直角X-Y方向、鉛直Z方向の3本の押引型アクチュエータからなるものである。アクチュエータと試験体は、ユニバーサルジョイントで接続されているため、水平2軸、鉛直1軸の組み合わせ載荷が可能である。

軸力については、断面における平均軸圧縮応力度が 1.0 N/mm^2 となるように、 160 kN をZ軸方向のアクチュエータにより、水平方向の载荷中の荷重値が一定になるように制御した。一方、水平方向については、载荷点変位とせん断スパン($1,370 \text{ mm}$)の比からなるドリフトを基準とした、同一振幅における繰返し回数を3回とした、円形振幅漸増型载荷を行った。図-8に载荷変位の履歴(X-Y)を示す。振幅の漸増の基準となる変位は、ドリフト0.5%に相当する 6.85 mm の载荷点変位とした。

実験は、試験体の耐力が最大値の8割程度以下にまで低下し、基部に顕著な損傷が確認できた時点で終了した。

(3) 計測項目

8角形の隅角部に配置される軸方向鉄筋の、基部から0.5D区間と、フーチング内部にもひずみゲージを設置した。

試験体の基部における隅角部付近には、基部から75, 125mmの位置にコンクリートゲージを設置し、実験時におけるUFC製プレキャスト型枠の圧縮ひずみを計測した。また、UFC製プレキャスト型枠とRC部の境界の近傍となる、基部から525mmの位置にも、コンクリートゲージを設置し、同部分のかぶりコンクリートの圧縮ひずみを計測した。試験体への载荷荷重、载荷点変位については、X,Y,Z方向の各アクチュエータに内蔵されたロードセル、変位計によって計測した。

4. 実験結果と考察

本実験は、载荷開始前にジャッキの誤作動により-Y方向に水平変位を約44mm(約3.2%の回転角)与えてしまった。これにより、引張側の鉄筋は降伏に達したが、座屈や破断にまで至った鉄筋は無いと考えられた。さらに、UFC製プレキャスト型枠に生じた損傷も軽微な剥離程度であったため、変形性能の確認や、終局時の破壊状況の確認は可能であると判断し、試験体頭部の変位を原点に戻した後、

载荷を開始した。

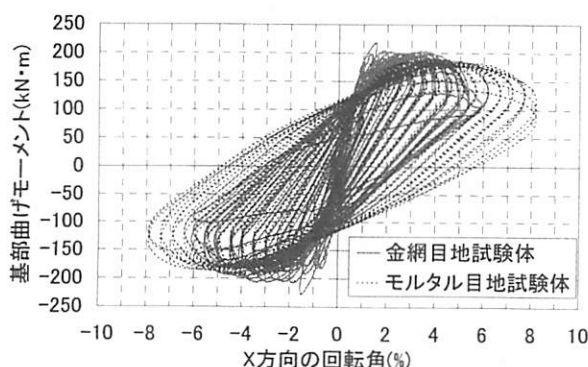
(1) 曲げモーメント-回転角と曲げひび割れ

図-9中に、P- δ 効果とフーチングの移動量を補正した曲げモーメント-回転角の関係を示す。曲げモーメント-回転角関係では、X,Y方向共に、回転角が2.5%程度以降は、曲げモーメントは増加することなく、ほぼ耐力を保持したまま、曲げ変形が進んでいる。その後、回転角7.5%の繰返しにおいて、隅角部に配置された軸方向鉄筋が破断した後、回転角8.0%の繰返し载荷中に複数の軸方向鉄筋の破断が確認され、曲げモーメントが低下した。

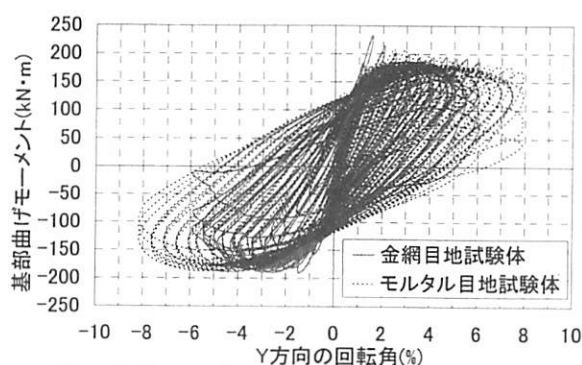
曲げひび割れは、回転角1.0%時には、UFC製プレキャスト型枠の3層目上部まで発生した。その後、最大曲げ耐力経験後の回転角3.0%時において、4層目上部(0.5D)まで曲げひび割れが発生した。さらに、回転角4.0%時において、6層目上部(0.75D)まで曲げひび割れが発生した。しかし、これ以降の回転角では、新たな曲げひび割れは発生しなかった。なお、曲げひび割れは、目地部のUFCとモルタルの界面で発生しており、UFC部での曲げひび割れ発生は認められなかった。(写真-5(1))

本実験で作成したモルタル目地部のひび割れ発生強度は、別途行った曲げ試験より、 0.75 N/mm^2 であることを確認しており、良好なひび割れ分散性を有していたと考えられる。

図-9中に、ひび割れ誘発目地として、UFC製プレキャスト型枠に50mm間隔で金網による鋼繊維の不連続部分を設けた試験体(以下、金網目地試験体)の曲げモーメント-回転角の関係を示す。本試験体では、回転角6.0%時に、複数の軸方向鉄筋の破断により終局を迎えた。UFC製プレキャスト型枠部には、ドリフト1.0%時に、基部から200mm程度までの高さに2~3本の曲げひび割れが発生したが、終局を迎えるまでひび割れの本数が増えることはなく、特に、フーチングと躯体の境界におけるひび割れ幅が大きく拡大する傾向が確認された(写真-5(2))。



(1) X方向の曲げモーメント-回転角

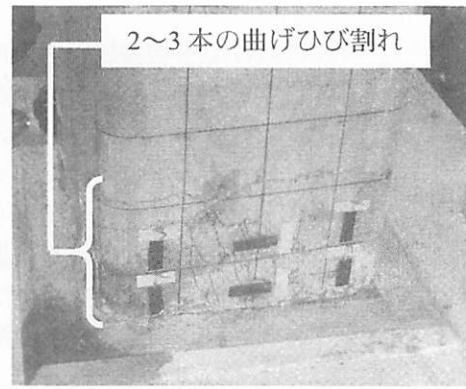


(2) Y方向の曲げモーメント-回転角

図-9 曲げモーメント-回転角の関係



(1) モルタル目地試験体回転角 6.5%時



(2) 金網目地試験体実験終了時

写真-5 UFC製プレキャスト型枠部の曲げひび割れ発生状況

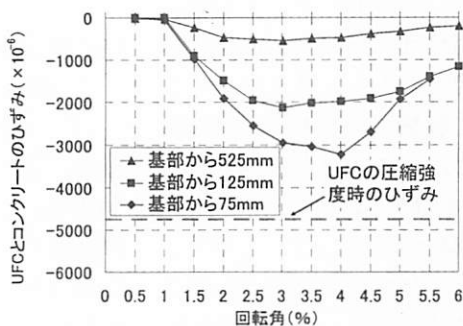


図-10 UFCの圧縮ひずみの変化

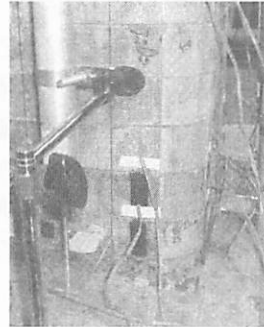


写真-6 回転角 4.5%時の基部の様子

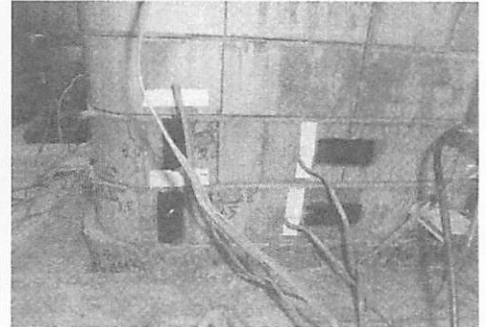


写真-7 実験終了時の基部の様子

金網目地試験体では、軸方向鉄筋のひずみが、軸方向鉄筋の損傷が主に基部のみで局所的に激しくなっていたと考えられる。これに対し、モルタル目地試験体では、基部から0.5D以上の区間までひび割れが発生し、軸方向鉄筋の損傷が分散されたことから、より高い変形性能を得ることができたと考えられる。

なお、金網目地試験体モルタル目地試験体では、回転角1.5%時に最大耐力に到達したが、モルタル目地試験体では、回転角2.5%時に金網目地試験体より小さな最大耐力を示した。これは、初期のジャッキの誤動作により、軸方向鉄筋にひずみが蓄積されたことによると考えられる。

(2) UFC製プレキャスト型枠のひずみと破壊性状

図-10にUFC製プレキャスト型枠と普通コンクリートの圧縮ひずみについて、変形ごとの変化を示す。同図に示した圧縮ひずみは、回転角4.0%時に基部のひずみが、最も大きな値を示した隅角部での計測値である。UFCのひずみの大きさについては、ドリフトが4.0%時において基部から75 mmの位置で計測された約 $3,250 \times 10^{-6}$ が最大であり、材料試験におけるUFCの最大圧縮時のひずみが概ね $4,770 \times 10^{-6}$ 程度であったことを考慮すると、この時点までの計測位置におけるUFCは健全であったと考えられる。回転角4.5%以降において、全体的に圧縮ひずみが小さくなる傾向にあるが、これは、モルタル目地近傍の

UFC表面に、軽微な剥離が発生したことが原因と考えられる。

写真-6に、回転角4.5%時の、基部の様子を示す。これによると、基部隅角部の表面に軽い割れ欠けが見られる程度であり、目地モルタルにも損傷は無く、大きな補修を必要としない損傷であると考えられるため、回転角4.5%程度であれば、ダメージフリーのコンセプトをほぼ達成しているといえる。次に、写真-7に実験終了時の基部の様子を示す。繰返し円形荷重の影響により、最下段のUFC製プレキャスト型枠に割裂ひび割れが確認されたが、目地モルタルの圧壊は確認されなかった。ただし、このような状態に至った場合、圧縮力を受け持つことができるUFCの断面積が小さくなるため、橋脚としての使用性が担保できず、何らかの補修が必要になると考えられる。

5. ファイバーモデルによる再現解析

ここでは、ファイバーモデルによる二方向繰返し荷重実験の再現解析を行い、実験結果と解析結果の整合性について考察する。

(1) 解析の概要

解析モデルは、図-11に示すファイバーモデルを

基本とするものである。RC区間の断面については、かぶりコンクリート、コアコンクリート、主鉄筋をファイバー要素でモデル化する。一方、UFC製プレキャスト型枠の適用区間については、かぶりコンクリート要素の応力-ひずみ関係に、UFCの材料特性を適用している。

材料特性は、普通コンクリート（材料試験値に基づく圧縮強度：47.5 N/mm²）については修正六車一渡部モデルを適用した。なお、コアコンクリートについては道路橋示方書⁶⁾に基づいて横拘束鉄筋による拘束効果を考慮した物性値としている（図-12）。UFC製プレキャスト型枠部については、2.4 mmのモルタル目地を有する圧縮試験によって得られた最大圧縮強度（176.9 N/mm²）までは弾性とし、ポストピークについては、ひずみが14,000×10⁻⁶で応力がゼロになるような下降勾配を設定している⁷⁾。ただし、UFC製プレキャスト型枠適用区間では、ひび割れ誘発目地を設けているため、UFCの鋼繊維が不連続となっており、曲げひび割れの発生を誘導することから、解析における材料特性でも引張応力を受け持たないように、引張側の剛性は常にゼロとしている。なお、図-13に材料試験で得られたUFCの圧縮応力-圧縮ひずみの関係と、解析モデルとの比較を示す。

軸方向鉄筋（降伏強度：406.1 N/mm²）については、GMP（Giuffre-Menegotto-Pinto）モデルを採用した（図-12）。なお、鉄筋の応力-ひずみ曲線の紡錘性に関わるバウジンガー係数は、実験結果の荷重-変位関係の履歴形状から15.0とし、座屈や破断の影響については考慮していない。

解析方法は、変位制御による二方向繰返し載荷で行い、各試験体の実験結果における載荷点位置の水平変位を、同一振幅における繰返し回数を3回として入力した。また、初期のジャッキの誤動作の影響も加味している。主鉄筋のフーチングからの伸出しによる影響については、伸出しによる回転変形を解析結果に加算することにより考慮した。伸出しによる影響は、試験体の変形状況に応じて変化するが、実験時に測定した基部から25 mmの位置の回転角を伸出しによるものと考え、回転角1.0%以降の試験体の計測結果の平均値から、載荷点変位における伸出しによる回転変形の割合を35%として設定した。

(2) 解析結果と考察

図-14より、Y方向のバウジンガー効果に若干の差は見られるが、載荷前のジャッキの誤動作を受けた後の曲げ耐力や履歴形状について、実験結果と良く一致していることが確認できる。特に、UFC試験体

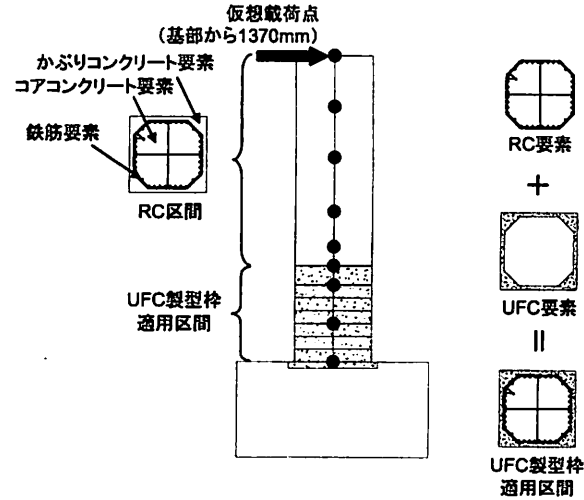
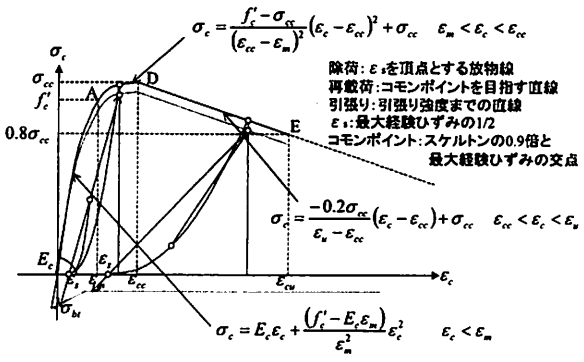
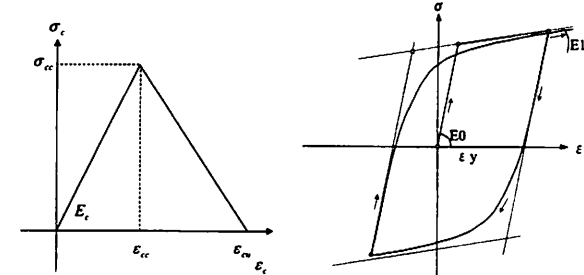


図-11 解析モデル



(1) コンクリート



(2) 超高強度繊維補強コンクリート (3) 鉄筋

図-12 解析で用いた材料の応力-ひずみ関係

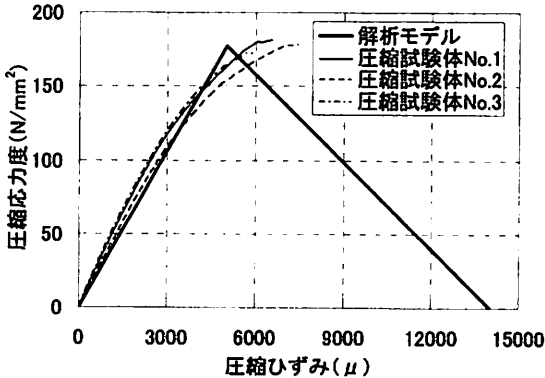
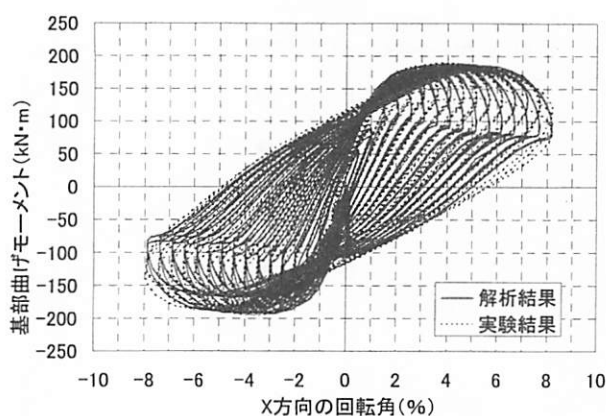
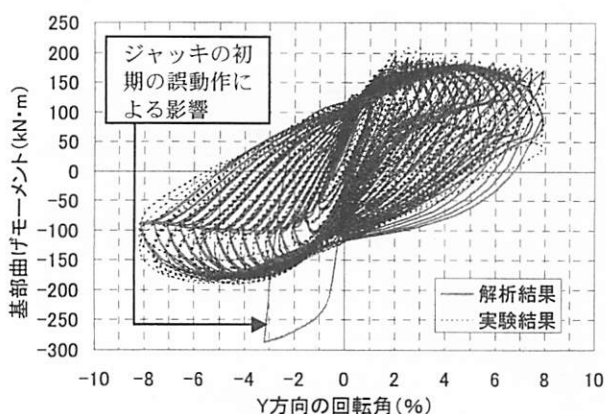


図-13 UFCの材料特性

の実験では、軸方向鉄筋の降伏後の変形の増加に伴い、中立軸がかぶり側へ移動することにより曲げ耐力が徐々に増加する傾向が確認されているが、解析



(1) X方向の曲げモーメントー回転角



(2) Y方向の曲げモーメントー回転角

図-14 解析結果と実験結果の比較

結果でも同様な傾向が再現できている。また、二方向の耐力の相互作用についても、X方向、Y方向の両方の荷重－変位関係において、実験結果に近似している。ただし、今回の解析では、鉄筋の破断や座屈、UFCの回転変形については考慮できていないため、終局時の現象については、正確に再現できていないことに留意する必要がある。

6. 結論

本研究では、モルタル目地を有するUFC製プレキャスト型枠を基部に適用したUFC橋脚に対して、二方向からの荷重に対する構造特性を明らかにすることを目的として、円形繰返しによる二方向荷重実験とファイバーモデルによる再現解析を行った。その結果、以下のようなことが明らかとなった。

1. 二方向からの円形繰返し荷重に対して、隅角部の軸方向鉄筋の破断が確認された回転角 7.5%時まで、曲げ耐力は安定していた。また、UFC製プレキャスト型枠の適用区間の外観についても、軸方向鉄筋が座屈することにより、かぶりが大きく剥落するような損傷は確認されなかった。

2. 軸方向鉄筋の座屈後の曲げ戻しによる破断によって終局を迎えた回転角 8.0%時においても、繰り返しの回転荷重による型枠のズレは確認されたが、モルタルの圧壊は見られず、モルタルの破壊により終局を迎えることはなかった。
3. UFC製プレキャスト型枠の目地部がモルタル目地で、同部分の引張強度がゼロに近い場合、良好な曲げひび割れ分散性を有するため、軸方向鉄筋のひずみ分布が塑性ヒンジ区間内で分散し、局所的な鉄筋の損傷を防ぐことで変形性能を高めることができる可能性がある。
4. 回転角 4.5%までは、UFC製プレキャスト型枠基部の隅角部に軽い割れ欠けが見られる程度であり、大きな補修を必要としないと考えられ、ダメージフリーというコンセプトをほぼ実現しているといえる。
5. モルタル目地を含む UFC 部材は、UFC 単体に比べ 10%程度圧縮強度が低下するが、これを型枠に用いた場合でも、高い耐震性能を有することがわかった。
6. ファイバーモデルによる二方向繰返し荷重の再現解析の結果が、実験結果と同様の傾向を示すことを確認した。

参考文献

- 1) 早川涼二, 川島一彦, 渡邊学歩: 水平二方向地震力を受ける単柱式RC橋脚の耐震性, 土木学会論文集, No.759/I-67, pp.79-98, 2004.
- 2) 荻本英典, 川島一彦, 渡邊学歩, 永田聖二: 水平2方向地震力の同時作用がRC単柱式橋脚の耐震性に及ぼす影響, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.33-50, 2005.
- 3) 山野辺慎一, 曾我部直樹, 家村浩和, 高橋良和: 高性能塑性ヒンジ構造を適用した高耐震性RC橋脚の開発, 土木学会論文集, Vol.64, No.2, pp.317-332, 2008.
- 4) 金光嘉久, 山野辺慎一, 曾我部直樹, 川島一彦, 松崎裕, 佐々木智大: 超高強度繊維補強コンクリートを用いた道路橋RC橋脚の二方向荷重実験とファイバーモデル解析, 第14回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.387-394, 2011.
- 5) 例えば, 本田智昭, 一宮利通, 曾我部直樹, 日紫喜剛啓: 超高強度繊維補強コンクリートの構造性能に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, 2006.
- 6) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2002.
- 7) 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), コンクリートライブラリー 113, 2004