

複合応力下におけるハーフプレキャスト部材の構造特性

三浦 康成*
 淵上 勝志*
 都祭 弘幸**
 藤本 良和***

要 旨

前報で述べたリンクガーターは、現場打ちRC造からPCシェルを用いたハーフプレキャスト造へ設計変更を行った。PCシェルを採用しても構造的な挙動に差異が無いことや、複合応力下におけるPCシェルと現場打設コンクリートの一体性の確認を目的とした構造実験を実施し、次を把握した。引張軸力およびねじりモーメントが作用する複合応力下においても、PCシェルと後打ち部分のコンクリートが一体となっていることが推察できた。強軸・弱軸方向とも一体打ち・PCシェルの荷重変形関係に大きな差はなく、最終段階では全ての試験体で終局限界状態の2倍以上の荷重に対しても安定した履歴性状を示した。曲率分布は、ULS以下で一体打ちとほぼ同じ傾向を示した。主筋のひずみ分布は、一体打ちとほぼ同じ傾向を示しギャップの影響は認められなかった。最大せん断ひずみ分布は、一体打ちとほぼ同じ傾向を示した。構造実験結果よりPCシェル部分と後打ち部分は一体として挙動し、PCシェル試験体は一体打ち試験体に対して同等以上の構造性能を有すると判断できる。

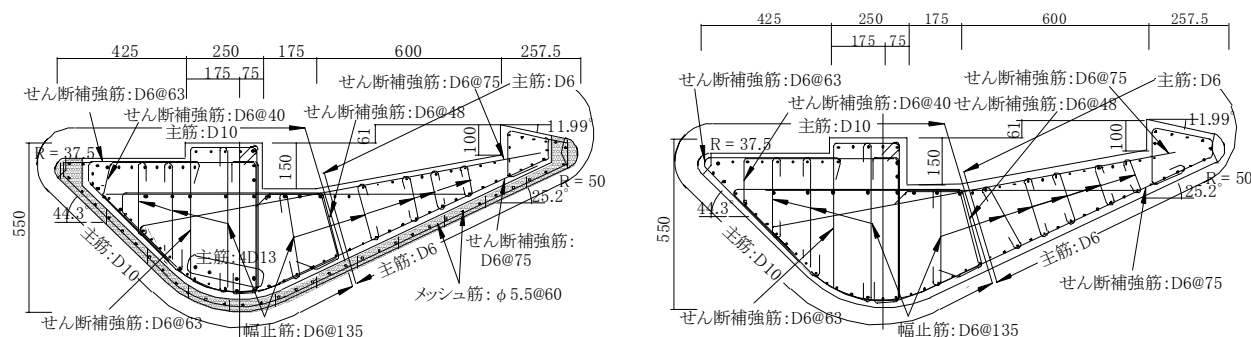
1. はじめに

本報では、前報で述べたリンクガーターに対してPC化を行う際に実施した構造について、実験概要と結果について述べる。リンクガーターは、原設計では一体打ちであるが、施工性からPCシェルを採用することになった経緯は、前報で示した通りである。

2. 試験体概要

試験体は、PCシェルを用いた試験体3体と一体打ち試験体2体とした。試験体のスケールは、実建物の1/2とし、断面形状および配筋状態を忠実にスケールダウンした。試験体の形状は、試験区間を直立に支えて片持ち梁形式加力を行うため、上下にスタブを設けた。PCシェルは、プレキャスト製の打ち込み型枠であり、実建物のPCシェル厚75mmに対して37.5mmとし、メッシュ筋の鉄筋比

を揃えた。図-1(a)(b)に、PCシェル試験体および一体打ち試験体の断面を示す。特殊な断面形状を有すること、およびねじりモーメントが作用するために、せん断補強筋は、円弧および直線からなる7種類から構成される。なお、PCシェル試験体の主筋は、PCシェルの厚さだけ断面内部に位置することから、曲げ耐力が同等となるようにPCシェル側に4本追加したが、せん断補強筋量は一体1打ち試験体と同じである。PCシェルの界面には目荒らしを施し、後打ちコンクリートとはシアキーで接合されている。図-2(a)(b)にPCシェルを用いた強軸方向加力試験体の形状を示す。試験体のPCシェル長さは750mmとし、実建物におけるPCシェル間の接合部を模して、試験体中央に10mmのギャップを設けた。また、PCシェルとスタブとは結合されていない。



(a) PCシェル試験体 (ESP-PC1 ~ 3)

(b) 一体打ち試験体 (ESP-RC1, 2)

図 - 1 試験体断面

* 建築本部建築設計部 ** 技術研究所 *** 横浜支店

表 - 1 に試験体一覧を示す。試験体は、実建物の複合応力状態を考慮し、強軸方向加力(30°方向)と弱軸方向加力(120°方向)という加力の方向と、P Cシェル適用の有無、軸力の有無を変数とした。表中の引張軸力およびねじりモーメントは、実建物の設計用応力 SLS と ULS において部材に作用する最大応力を試験体スケールに換算して求めた。

3. 使用材料

試験体に用いた鉄筋は、主筋、せん断補強筋ともに、実建物と同等 ($f_y = 460\text{N/mm}^2$) とした。表 - 2 (a) に試験結果を示す。またコンクリートは、国内産の材料を使用することとし、粗骨材の最大径を約 1/2 とすると共に、設計基準強度 (40N/mm^2) に適合させた。コンクリートの材料試験結果を表 - 2 (b) に示す。

表 - 1 試験体一覧

試験体番号	ESP-PC1 ESP-RC1	ESP-PC2 ESP-RC2	ESP-PC3
軸力	SLS: 343 kN, ULS: 490 kN (引張力)		0 kN
ねじりモーメント	SLS: 37.0 kNm, ULS: 52.9 kNm (時計回り方向)		
せん断力	SLS: 117.6 kN ULS: 176.4 kN	SLS: 54.9 kN ULS: 78.4 kN	
加力方向			

表中、SLSは使用限界状態(Serviceability Limit State)を、ULSは終局限界状態(Ultimate Limit State)をそれぞれ示す

表 - 2 (a) 鉄筋の材料特性一覧

	降伏点強度 (N/mm^2)	最大強度 (N/mm^2)	破断時伸び (%)
D6	569.5 *	750.2	14.0
D10	480.3	720.1	19.2
D13	492.5	705.6	19.7
メッシュ筋	548.1 *	810.4	—

* 0.2%オフセット値

表 - 2 (b) コンクリートの材料特性

	現場打ち			PCシェル		
	圧縮強度	割裂強度	ヤング率	圧縮強度	割裂強度	ヤング率
PC1	42.5	3.52	3.81E+04	64.9	4.42	3.84E+04
PC2	42.6	3.11	3.56E+04			
PC3	39.9	2.95	3.50E+04			
RC1	41.8	3.52	3.69E+04	—	—	—
RC2	43.3	3.75	3.55E+04	—	—	—

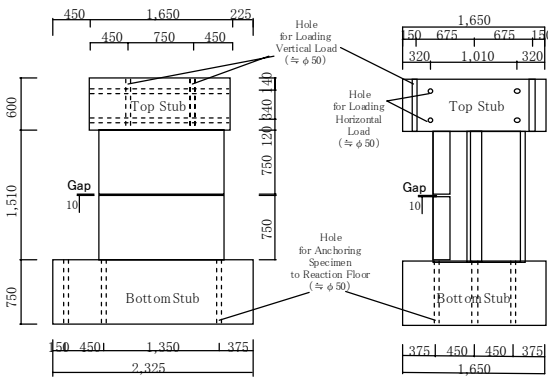


図 - 2 (a) 試験体立面図 (ESP-PC1)

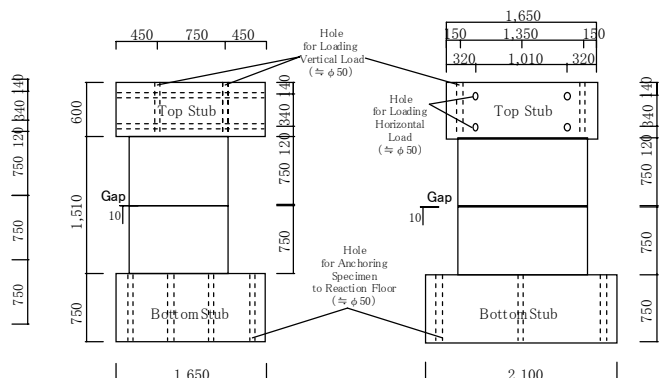


図 - 2 (c) 試験体立面図 (ESP-PC3, 4)

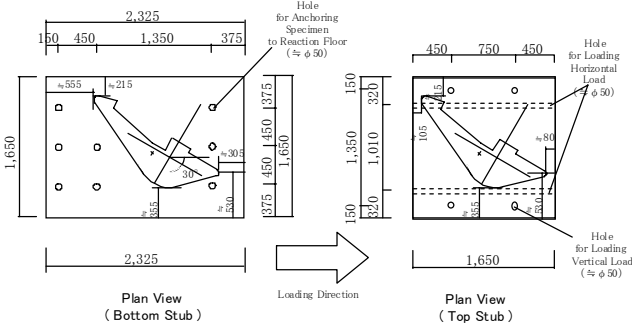


図 - 2 (b) 試験体断面図 (ESP-PC1)

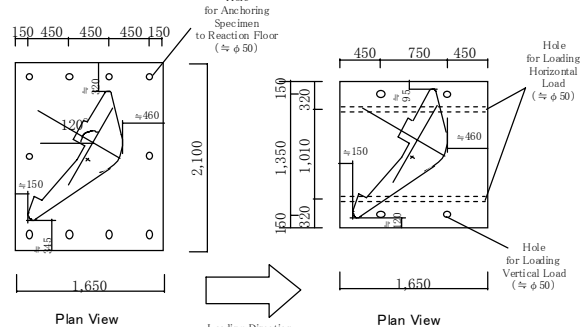


図 - 2 (d) 試験体断面図 (ESP-PC3, 4)

4. 加力方法および計測方法

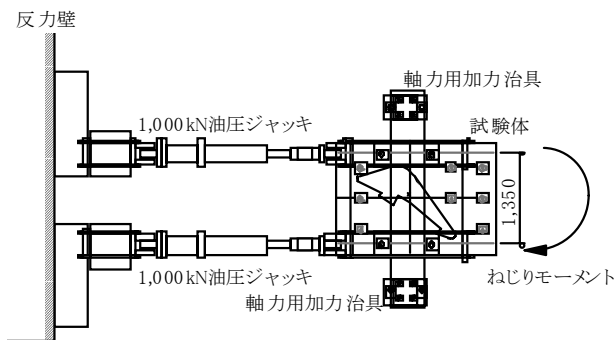
図-3に、強軸方向加力に試験体（ESP-PC1, RC1）の加力方法を示す。上スタブに水平に取り付けられた2本の1,000kN油圧ジャッキにより、ねじりモーメントおよび2軸曲げモーメント、せん断力を試験体に作用させた。鉛直ジャッキの支点を下スタブ際および水平加力芯の高さとすることによって、引張軸力が試験体の芯に作用するように計画した。加力は、SLSおよびULSまでを荷重制御によって、ULS以降を変位制御によって行った。まず、SLS時の引張軸力を作用させ保持した状態で、ねじりモーメントを作用させ、これらを保持した状態で、水平力を正負SLSまで各1回作用させた。次いで同様にULS時の引張軸力、ねじりモーメントを作用させ、水平力を正負ULSまで各1回作用させた。ULS時の軸力およびねじりモーメントを保持したまま正側の最大耐力を目指す加力を行った。ULS以降は加力点における部材角により制御した。弱軸方向加力の試験体も同様に加力を行った。

計測は、変位計によって水平変位、軸変形、曲率を、鉄筋ひずみゲージによって主筋およびせん断補強筋の要所を、3軸コンクリートゲージによって試験体表面のひずみを、それぞれ測定した。

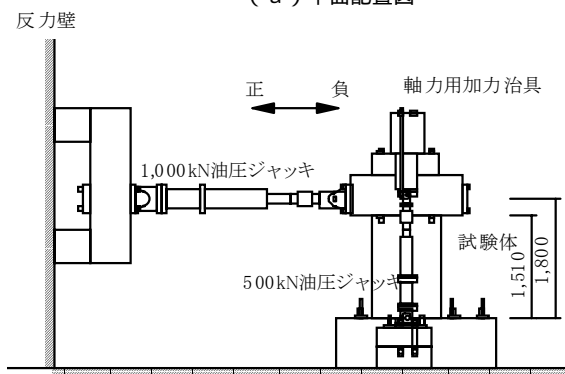
5. 破壊経過

各試験体とも、SLS時の引張軸力およびねじりモーメントを載荷する際にはひび割れが発生しなかった。曲げひび割れは、強軸方向加力では、ESP-PC1, RC1ともに、正側ULSにおいて生じたが、弱軸方向加力では、ESP-PC2, RC2ともに、正負SLS, ULSでも発生しなかった。ESP-PC1・PC2・RC1・RC2について、設計上の限界変形状態である部材角1/300rad.でのひびわれ状況を写真-1に示す。PCシェル面に水平の曲げひび割れが生じていることが判る。また、主筋はULS以降の部材角1/600rad. ~ 1/400rad.において降伏したが、せん断補強筋は、加力終了まで降伏しなかった。

強軸方向加力において、加力直交方向への変形が増大したため、各試験体とも1/100rad.程度までの載荷となった。加力終了まで、各試験体は、引張軸力およびねじりモーメントが作用する複合応力下においても曲げ破壊型を示し、ひび割れの発生状況には、ねじりモーメントの影響は認められなかった。また、PCシェルを用いた試験体は、加力最終段階においてもPCシェルの剥落や剥離を示す膨らみは認められなかった。

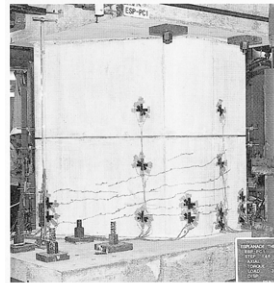


(a) 平面配置図

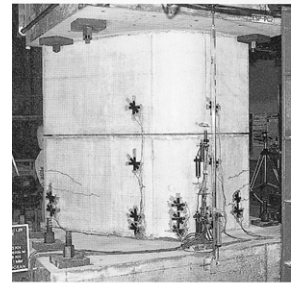


(b) 立面図

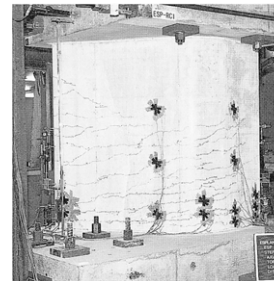
図-3 加力装置 (ESP-PC1 & ESP-RC1)



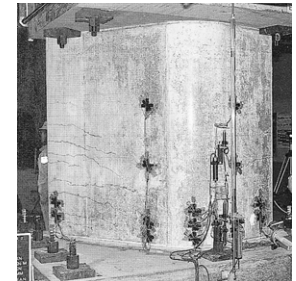
(a) ESP-PC1 試験体



(b) ESP-PC2 試験体



(c) ESP-RC1 試験体



(d) ESP-RC2 試験体

写真-1 試験体破壊状況
(設計上の限界変形 部材角 1/300rad.)

6. 荷重変形関係

次に強軸方向と弱軸方向に加力したそれぞれの試験体について、一体打ちで製作した試験体との比較を行った。強軸および弱軸方向加力試験体の荷重変形関係について、SLS範囲内と ULS以降実験終了に分けて比較したものを図 - 5 ~ 図 - 8 に示す。強軸方向、弱軸方向いずれの方向についても、SLS範囲内の変形量に差異があるものの、これらは変形量が1mmに満たない微小変形内であり、一体打ち試験体およびPCシェル試験体の荷重変形関係の傾向には有意な差は認められなかった。また、ULS以降実験終了まで強軸方向、弱軸方向ともに荷重変形関係には大きな差が確認できず、ULSの2倍以上の荷重となった最終段階においても全試験体が安定した性状を示した。

軸力を与えなかったESP-PC3の荷重変形関係を図 - 6 および図 - 8 に示す。引張軸力を与えた以外は同条件としたESP-PC2と比較すると、ULS以降で同一変形時の耐力が上昇した。これは引張軸力の有無がULS以降の大きな変形時において、荷重変形関係に影響したものと考えられる。

7. 鉄筋ひずみ

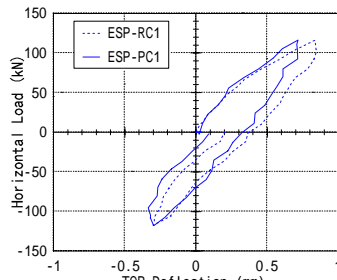
ESP-PC1・PC2・RC1・RC2の各試験体について、SLSおよびULS加力時における最引張り端の高さ方向のひずみ分布を図 - 9 に示す。いずれの試験体も最下端のひずみが大きくなっているが、高さ方向の分布はほぼ同じ傾向を示した。さらに、PCシェル適用試験体(ESP-PC1, PC2)において、中央のギャップによる顕著な差は確認できなかった。

8. 曲率分布

図 - 10 に強軸方向加力試験体について、最下部から中央のギャップを挟む825mmまでの5区間で求めた曲率分布を示す。ここで、ULSから変位計の挙動が安定している部材角1/300rad.までの曲率分布形状を求めた。変形が大きくなるとギャップを挟む部分で曲率が大きくなるが、ULSまでは一体打ちとPCシェル試験体の間に顕著な差は認められない。また、弱軸方向についても同様の結果が認められた。

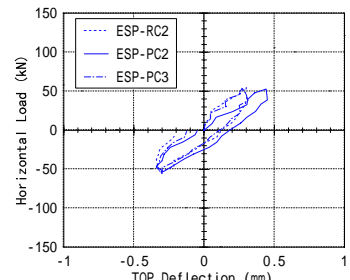
9. コンクリート表面ひずみ

コンクリート表面に発生している最大せん断ひずみmaxの分布形状を比較することで、PCシェル部分と後打



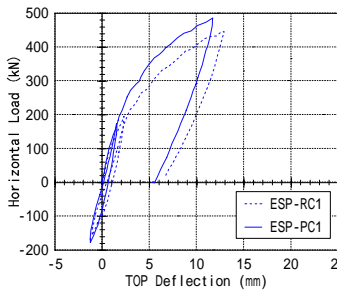
(強軸方向 SLS 内)

図 - 5 荷重 - 変形関係の比較



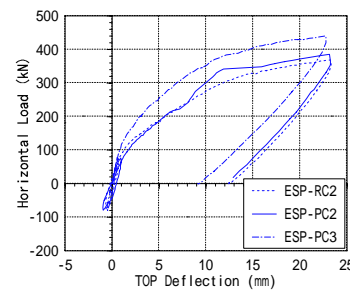
(弱軸方向 SLS 内)

図 - 6 荷重 - 変形関係の比較



(強軸方向 ULS ~ 実験終了)

図 - 7 荷重 - 変形関係の比較



(弱軸方向 ULS ~ 実験終了)

図 - 8 荷重 - 変形関係の比較

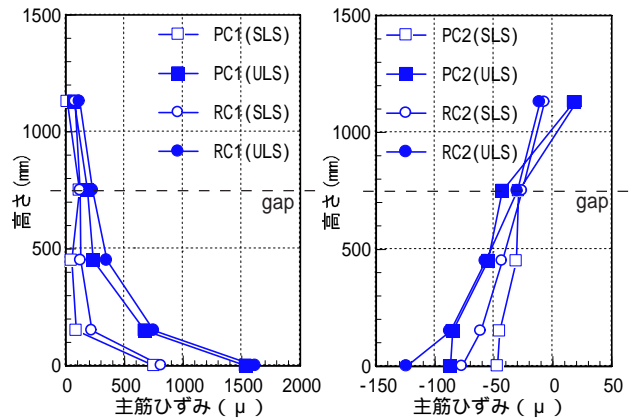


図 - 8 主筋ひずみ分布の比較

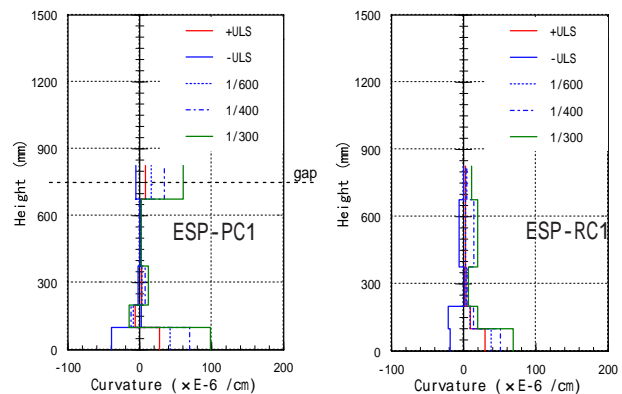


図 - 9 曲率分布の比較

ち部分との一体性について検討を行った。比較する試験体は弱軸方向に加力した ESP-RC2, PC2, PC3 とした。コンクリートに貼付したひずみゲージより、発生した max を算定する。ゲージは図 - 9 (a) に示すように、下スタブから 150mm の位置に断面を一周するように貼付した。図 - 9 (b) に max の分布形状を比較した結果を示す。このとき曲げモーメントの増加によるひずみ分布の変化を観察するために、軸力とねじりモーメントを与えた段階 (図中 で表示) と、SLS 時のモーメントを与えた段階 (で表示) について比較する。一体打ち試験体、P C シェル採用試験体に関わらず、両者の分布形状は良く一致している。以上より、P C シェルは後打ち部分と一体化して挙動していることが確認できる。図 - 9 (c) は、ESP-PC2 と ESP-PC3 を比較した結果である。分布形状に大きな違いは確認されず、後打ち部と P C シェルの一体性について引張軸力の影響は小さいことがわかる。

また、ESP-PC2 について、SLS 加力時の FEM モデルを用いた解析結果と実験結果を比較したものを図 - 10 に示す。複合応力下での特殊断面形状でモデル化を行った解析結果は、実験結果と良く一致した。

10 . 主筋ひずみと曲げモーメントの関係

(その 1) で述べたように、施工時の応力状態を把握するために、主筋ひずみと同断面位置に作用している曲げモーメントの関係について検討する。検討は、水平・鉛直曲げモーメントに対して行い、これらは梁断面に作用する曲げモーメントを部材断面に対して水平と鉛直方向成分に分解 (図 - 11 参照) して求めたものである。分解されたそれぞれのモーメントに対して、モーメントの作用方向に対する両端部における主筋ひずみとの関係を求める。検討する主筋ひずみは次式により定められる。

水平ひずみ : $H = 3 - 4$
 鉛直ひずみ : $V = 1 - 2$

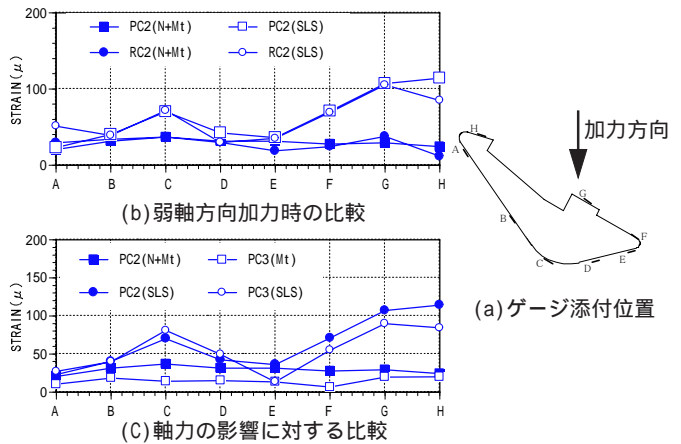


図 - 9 コンクリート表面の最大せん断ひずみの比較

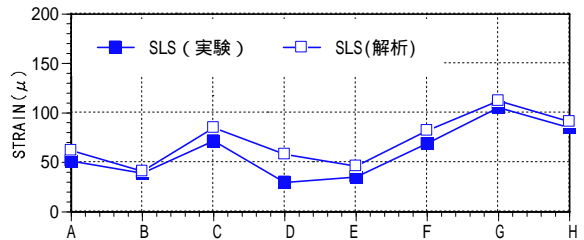


図 - 10 実験結果と解析結果の比較

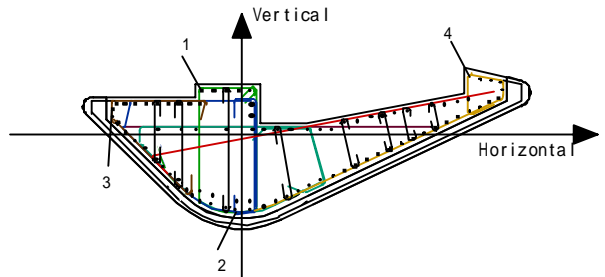


図 - 11 曲げモーメントの算定方向

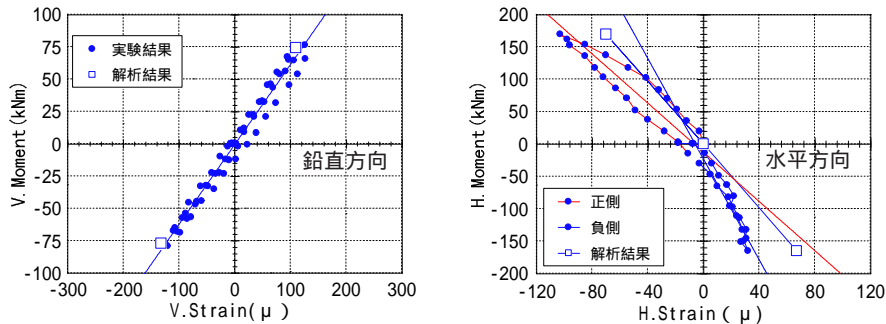


図 - 12 主筋ひずみと曲げモーメントの関係

求めた両方向のひずみと対応するそれぞれの方向における曲げモーメントの関係を図 - 12 に示す。最小自乗法を用いて近似した結果を図中に実線で示す。また図中にFEMモデルを用いて解析した結果を で示す。水平・鉛直方向ともに解析結果と実験結果で良い近似が得られた。

11. まとめ

本報では、RC造テンションリング部材の構造実験の概要と得られた結果について述べた。結果は、次に示す通りである。

破壊状況より、引張軸力およびねじりモーメントが作用する複合応力下においても、各試験体は曲げ破壊型を示すことが確認できた。

強軸・弱軸方向ともに荷重変形関係に大きな差は確認されず、最終段階では全ての試験体でULSの2倍以上の荷重に対しても安定した性状を示した。

曲率分布は、ULS以下では一体打ちとほぼ同じ傾向を示した。

主筋の高さ方向のひずみ分布は、各加力方向とも同様の分布傾向を示し、ギャップの影響は認められなかった。

PCシェルの剥落や剥離を示す膨らみが認められなかったことと、コンクリート表面の最大せん断ひずみ状況より、PCシェル部分と後打ち部分が一体化して挙動していることが確認できた。

以上、PCシェル試験体と一体打ち試験体の実験結果の比較より、PCシェル部分と後打ち部分は一体化して挙動し、PCシェル試験体は一体打ち試験体に対して同等以上の構造性能を有するものと判断する。

参考文献

- 1) 都祭弘幸他: 特殊断面形状を持つRC造テンションリングの構造性能(その1)建物概要と施工手順に基づく応力解析、日本建築学会大会学術講演梗概集、2000年
- 2) 三浦康成他: 特殊断面形状を持つRC造テンションリングの構造性能(その2)構造実験概要および破壊経過、日本建築学会大会学術講演梗概集、2000年
- 3) 淵上勝志: 特殊断面形状を持つRC造テンションリングの構造性能(その3)実験結果および考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、2000年
- 4) 淵上勝志他: 大空間構造物のRC造テンションリング構築時の挙動、五洋建設技術年報、Vol.30、2000