

報告 プレストレストコンクリート構造によるプレキャストブロック 接合部の曲げ・せん断耐力に関する実験的研究

寿上隆司*1・高木繁*2・津田和義*3・朝妻雅博*4

要旨：中空円環断面のプレキャストブロックをPC鋼棒で緊張・定着した構造について正負交番曲げ、およびせん断試験を実施。曲げ耐力は従来の計算値を満足した。PC鋼棒降伏時までの変位量は、道路橋示方書に示される曲げ変形による変位量の算定値と概略一致する。しかし、定着金具の存在で接合部付近コンクリートが早期圧壊し、粘りの無い破壊形態を示す。せん断耐力は、一体構造と接合構造による差異は少なく、円周方向鉄筋の量の影響が大きい。接合面にズレは無く、有効に応力を伝達している。

キーワード：プレキャスト、プレストレス、接合構造、曲げ耐力、せん断耐力

1. はじめに

構造物のプレキャスト（以下、PCa）化は省人化、省力化による労働力不足への対応、および省スペース、急速施工による環境への配慮などを実現する一手法として注目されている。しかし、PCa構造の接合部は構造上の弱点でもあり、接合法等に十分な検討が必要となる。

筆者らは、プレストレストコンクリート（以下、PC）構造による中空円環断面の高橋脚をPCa化するための一資料を得ることを目的として、PCウェル工法の接合構造について、その耐力、剛性、破壊性状等の基本特性を実験的に明らかにした。また、道路橋示方書V（耐震設計編）に示される保有水平耐力の算定方法を当構造へ適用する妥当性について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 試験供試体

断面諸元、供試体仕様を表-1、2に、配筋仕様を図-1に示す。

表-1 断面諸元

外径 D (mm)	厚さ T (mm)	PC鋼棒(SBPR930/1180)		断面面積 (cm ²)	断面二次モーメント I _c (cm ⁴)	有効プレストレス σ _{ce} (kgf/cm ²)
		径 (mm)	本数 (本)			
1000	130	17	12	27.24	3553	344×10 ⁴

表-2 供試体仕様

	正負交番曲げ試験			せん断試験		
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.1	NO.2	NO.3
径	1000			1000		
供試体長さ	12.0			6.0		
接合部	無	有		無	有	
配筋仕様	I	I	III	I	I	II
呼び名	1012-2-I	1012-1-I	1012-1-II	1006-2-I	1006-1-I	1006-1-II

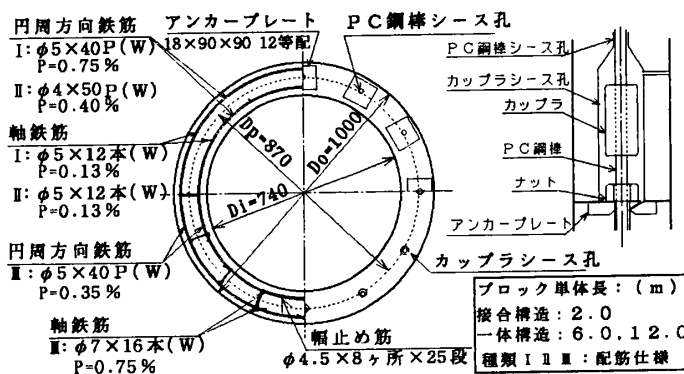


図-1 供試体断面

- * 1 日本ヒューム管(株)技術本部 技術工事部 (正会員)
- * 2 建設省土木研究所 構造橋梁部 基礎研究室
- * 3 日本ヒューム管(株)技術本部 技術工事部 (正会員)
- * 4 日本ヒューム管(株)技術本部 技術工事部

接合面にはエポキシ樹脂系接着剤を塗布し、ブロック毎にナット、アンカープレート、カップラによりPC鋼棒の緊張、定着を行う。プレストレス導入量は、有効プレストレス 50(kgf/cm²)程度とした。緊張後シース孔にグラウトを注入して接合する。

配筋仕様はI種を基本として、II種では円周筋の径を小さくし、ピッチ間隔を広げた。III種では軸筋の径と本数を増やすとともに内外円周筋に幅止め筋を施した。

コンクリート設計基準強度は700(kgf/cm²)、PC鋼棒はSBPR 930/1180を、鉄筋はSWM-Bを使用した。

2. 2 正負交番繰り返し荷重による曲げ試験

図-2に示す荷重形式により、引き上げを正、押し下げを負として正負交番繰り返し荷重を行った。断面図心より正負それぞれの方向の最遠のPC鋼棒が降伏するまでは5(tf)ピッチで荷重した。PC鋼棒が降伏した後は、降伏時荷重中央部の鉛直変位量で、正負いずれか大きい変位を δy として図-3に示すサイクルで荷重を行った。

2. 3 せん断試験

図-4に示す荷重形式により、図-5に示すサイクルで240(tf)まで繰り返し片押し荷重を行った。それ以降は徐々に荷重を増加させ破壊に至るまで荷重した。

3. 正負交番曲げ実験結果および考察

3. 1 耐力、破壊性状

表-3に各供試体の荷重および変位量の測定値を示す。ひび割れを確認した荷重は3体とも同様であるが、降伏荷重、最大荷重は一体構造が若干大きな値である。最大荷重時の変位は、3~5 δy となっている。破壊は、いずれも曲げにより荷重中央部のコンクリートが圧壊したことに起因する。図-6のひび割れ形状図によれば、NO.1ではコンクリートの圧壊部が荷重上下面に限られているのに対し、NO.2,3では側面にまで広がり、主にPC鋼棒定着部に多く発生している。コンクリートが定着金具と接触した状態で大きなひずみを受けたため、支圧的な破壊を起こしたものと推測される。

3. 2 変形性能

表-3より、PC鋼棒降伏時では接合構造で変位が大きく、最終変位量は一体構造で大きくなるのが認められる。図-7に荷重-変位履歴

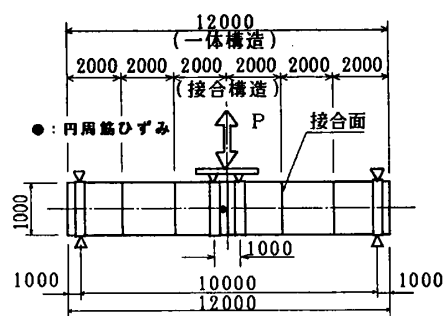


図-2 曲げ荷重形式

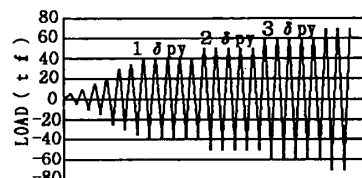


図-3 荷重サイクル

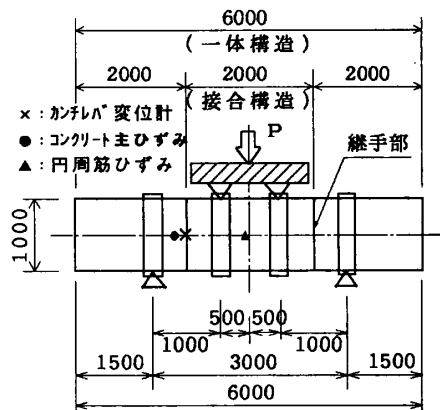


図-4 せん断荷重形式

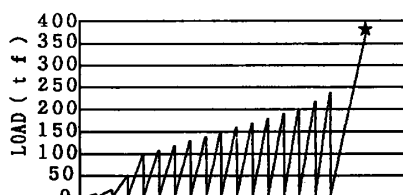


図-5 荷重サイクル

表-3 荷重および変位量

		P _{cr} (tf)	P _y (tf)	P _u (tf)	δpy (mm)	δu (mm)
NO.1	引	40.0	48.4	64.3 (4 δy)	9.31	139.5 以上
	押	35.0	43.9	59.0 (5 δy)	7.19	108.0 以上
NO.2	引	35.0	47.8	61.9 (3 δy)	12.76	85.0
	押	35.0	45.3	59.4 (3 δy)	13.11	75.0
NO.3	引	35.0	45.1	57.1 (5 δy)	11.13	84.0
	押	35.0	44.9	56.9 (3 δy)	11.77	70.0

P_{cr}: ひび割れ時荷重
 P_y: 引張最遠PC鋼棒降伏時荷重
 P_u: 破壊時荷重
 δpy : 同左時変位
 δu : 同左時変位

歴を示す。ひび割れまでの初期剛性は、両構造で大差はないが、最大耐力を過ぎると、接合構造では早期に耐力を失い、粘りの無い破壊形態を示す。図-6では明確でないが、一体構造での圧壊は円周筋より外側のかぶり部分のコンクリートの剝落程度にとどまり、その範囲も狭い。一方接合構造では定着金具付近で円周筋内部のコンクリートまで破壊して断面が欠損している。このため早期に耐力を失ったものと思われる。

3.3 PC鋼棒ひずみ

図-8にPC鋼棒の圧縮ひずみ分布を示す。長さ0(cm)は荷重中央点であり、左右各4.0(m)以内の負方向に荷重した時の上端最遠PC鋼棒の圧縮ひずみ分布を

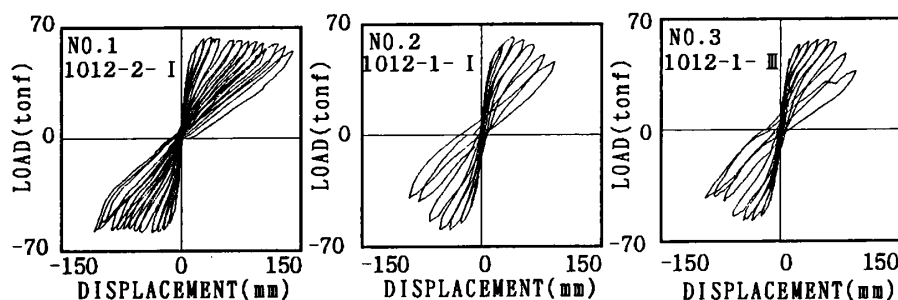


図-7 荷重-変位履歴

図示している。最大耐力を記録した δy および、その+1~+2 δy 荷重の第1サイクル時の測定値をプロットした。NO.1では、5~7 δy についてその分布には大きな変化はみられない。しかし、NO.2では、3 δy 以降、PC鋼棒の圧縮ひずみが増大し、4~5 δy では特に急激で、荷重中央部付近ほど著しい。これはNO.3でも同様の傾向を示している。最大耐力を示した後、耐力低下とともにPC鋼棒の圧縮ひずみが増大するという現象から、コンクリートの圧壊が進行してPC鋼棒の負担する圧縮力が大きくなっていることが推測される。

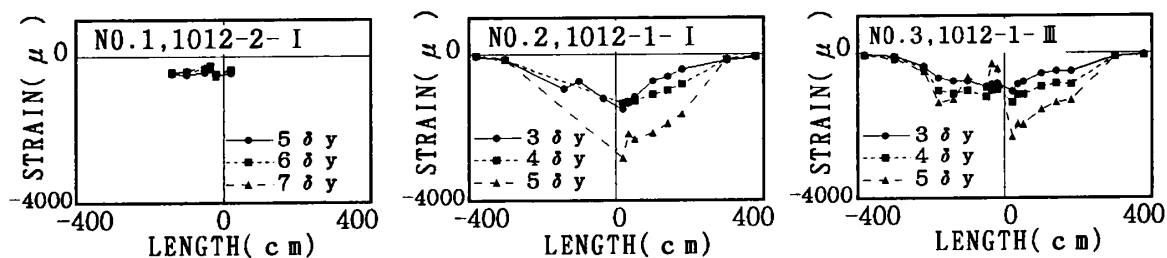


図-8 PC鋼棒圧縮ひずみ分布

3.4 コンクリートひずみ

図-9ではコンクリートのひずみ分布を図示する。ひずみ測定個所は、PC鋼棒と同様に負方向荷重した時の、コンクリート上端縁である。その他の条件は図-8と同様である。NO.1の場合変位が増えても、ひずみの分布に変化はみられず、コンクリートが圧縮力を十分負担出来ていることがわかる。しかし、NO.2では5 δy で荷重中央(接合部)付近での圧縮ひずみが激減し、圧縮力を負担出来なくなっている。NO.3についても4 δy で中央部のひずみが激減している。一体構造のNO.1の様に、徐々にかぶりコンクリートが圧壊するのとは異なり、接合構造では、接合面付近、特に定着金具の位置でコンクリートの破壊が起きている。定着、接続金具の存在がコンクリートの早期破壊の原因になっているものと思われる。

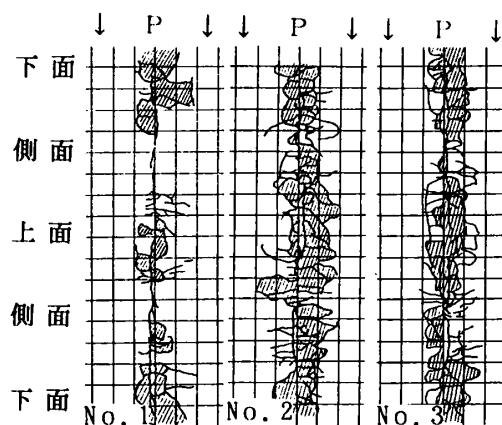


図-6 ひび割れ形状図 (荷重中央部展開図)

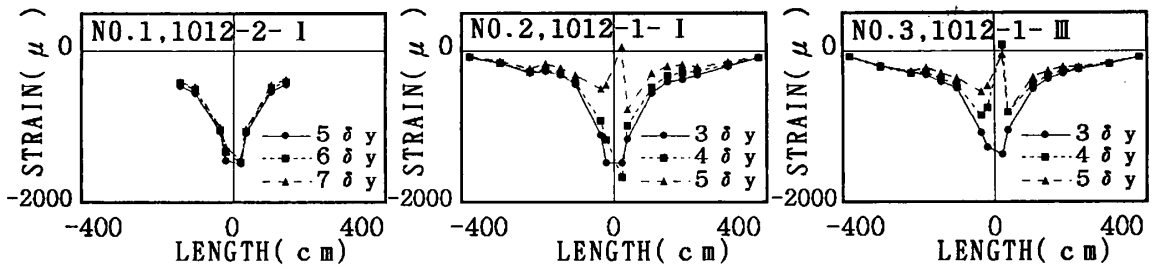


図-9 コンクリート圧縮ひずみ分布

3.5 円周方向筋ひずみ

図-10, 11に内外円周筋のひずみと荷重の関係を図示する。測定位置は荷重中央部の側面である。ここでは、最大耐力時のδyから数δy進んだ時点までのひずみを表示している。NO.1の場合、変位が増えると円周筋のひずみも増えており、コンクリートの拘束が効いていると言える。

しかし、NO.2,3の場合は途中のδyよりひずみが減少し始め円周筋がコンクリートの拘束に有効に作用出来ていない。幅止め筋は、コンクリートの拘束効果を上げて靱性を向上させる目的があるが、その効果はNO.2と比較して上がっていない。

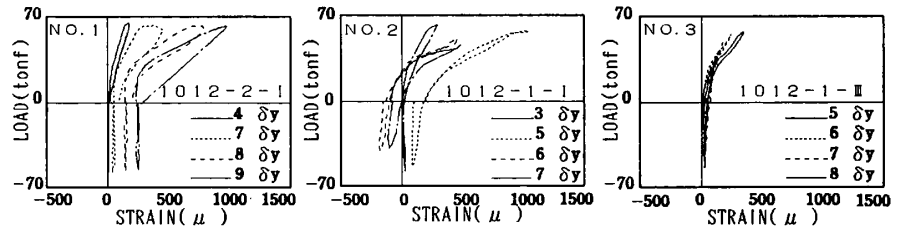


図-10 円周方向筋ひずみ分布 (外側)

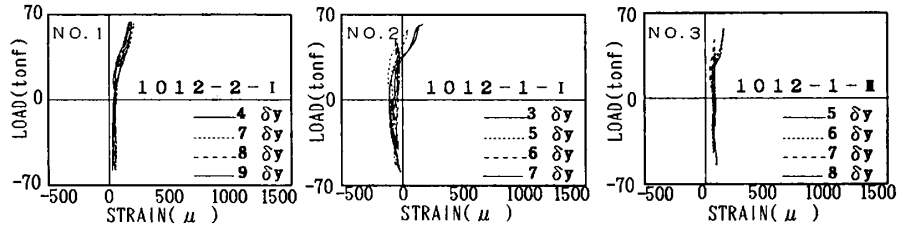


図-11 円周方向筋ひずみ分布 (内側)

3.6 エネルギー吸収能

PC構造では、除荷後に変位が復元し弾性的挙動を示すためエネルギーの減衰性に乏しい。これは図-7よりも確認出来る。NO.2,3では、PC鋼棒が破断し、耐力が落ちているが、依然弾性的挙動を示している。図-12に吸収、累積吸収エネルギーを示す。いずれも吸収量は上がり続けているが、これ以上荷重を続けた場合PC鋼棒が次々と破断し、急激にエネルギー吸収能が低下するものと思われる。

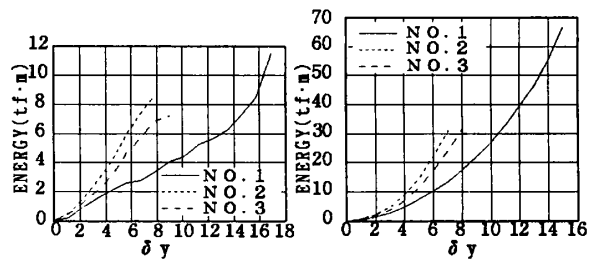


図-12 吸収および累積吸収エネルギー

3.7 変位および水平耐力の算定方法

変位量の計算値は道路橋示方書V(耐震設計編)5.4.2に示される計算手法を図-13の様に単純梁に置き換えて行った。材料の応力-ひずみ関係は、同示方書の図5.4.1、5.4.2に従い、材料設計値は図-13中の表に従っている。

CALC-1はコンクリート標準示方書 設計編の

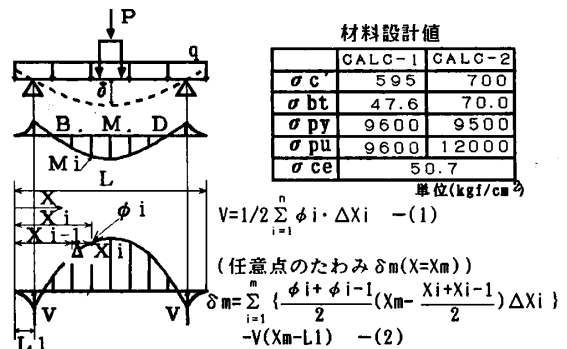


図-13 曲げ変形による変位

3.2.4、3.3.4に示される係数を材料強度に乘じ、CALC-2は、材料強度を使用した。表-4に計算結果を図-14にM-φ図、図-15に荷重-変位図を示す。試験結果より、各耐力値は全て従来の計算値(CALC-1)を満足している。変位量はひび割れ以前で計算値と良く一致し、PC鋼棒降伏までも概略一致する。それ以降は実際の供試体に塑性ヒンジが形成され、曲げモーメントの分布が計算条件とは異なるため計算値と試験値の整合性が悪くなる。以上より、耐力算定は接合構造も一体構造も同様に行うことが出来、またPC鋼棒降伏までは、変位量も道路橋示方書の算定式を適用して概略再現出来ている。

表-4 計算結果

		Mcr		My		Mu				
		測定値	CALC1	CALC2	測定値	CALC1	CALC2	測定値	CALC1	CALC2
NO.1	引	90.0			108.9			144.7		
	押	78.8			98.8			132.8		
NO.2	引	78.8	70.1	84.6	107.6	94.8	95.7	139.3	114.3	140.1
	押	78.8			101.9			133.7		
NO.3	引	78.8			101.5			128.5		
	押	78.8			101.0			128.0		

単位(tf・m)

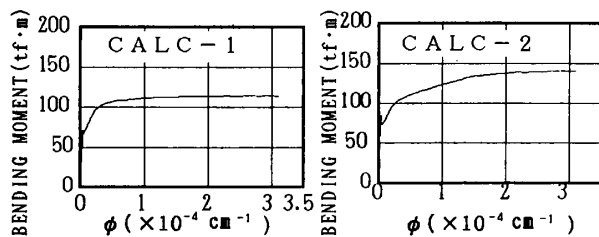


図-14 M-φ (CALC-1、CALC-2)

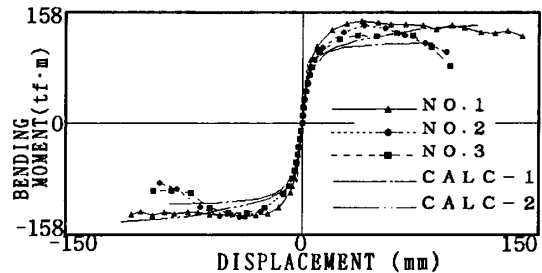


図-15 荷重-変位 (载荷中央点)

表-5 耐力

4. せん断試験結果および考察

4.1 耐力、破壊性状

表-5にひび割れ時の耐力と最大耐力を示す。PU-CALは、道路橋示方書V(耐震設計編)5.4.3によるせん断耐力算定値である。

	Pcr	Pu	Pu-CAL
NO.1	55.0	176.9	58.3
NO.2	50.0	171.5	
NO.3	50.0	163.0	37.3

単位(tf)

いずれのケースも、最大耐力に達したのち急激に変位が増加して破壊する。破壊形態は、斜め引張りひび割れに沿っての载荷点と支点間の腹部コンクリートの圧壊であった。同一配筋仕様で接合部の有無による影響をを比較したNO.1、NO.2の耐力値は、ほぼ同一となる。また、NO.2とNO.3では円周筋の少ないNO.3の方が最大耐力が低くなる結果を得た。

4.2 カンチレバー変位

図-16に荷重-カンチレバー変位の関係を図示する。変位は、载荷点と支点間の供試体側面で接合面をまたいで測定した。NO.1は接合部がないのでズレは生じない。NO.2、NO.3もNO.1と同様の傾向を示し、ひび割れ発生時までの荷重段階の変位は弾性変形によるところが大であると思われる。ひび割れ以降では、接合構造の変位

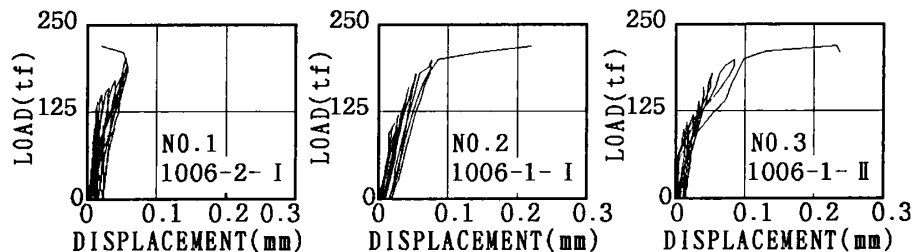


図-16 荷重-カンチレバー変位

が一体構造と比較して大きい、これは0.1mm以下で、目視ではズレを確認出来ない。曲げ変形

により、引張り側で若干の接合部の目開きが生じている影響と思われる。

4. 3 コンクリート主ひずみ

図-17にひび割れ荷重付近までの荷重-コンクリート主ひずみを図示する。測定位置は載荷点と支点間の供試体側面である。ひずみは三軸ゲージで測定し主軸方向のひずみを求めた。図-17では、NO.1で早めにひび割れが生じており、接合部の有無で応力の伝達に若干の差がある様である。ひび割れ発生荷重時のひずみは3ケースとも約200 μ 程度で、コンクリート強度より推定されるひび割れ発生ひずみとほぼ整合する。

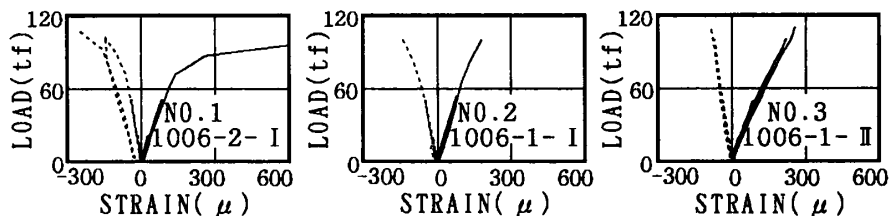


図-17 荷重-コンクリート主ひずみ

4. 4 円周方向筋ひずみ

図-18に荷重-円周筋ひずみの関係を図示する。各ケースとも、ひび割れ荷重を過ぎても、すぐには円周筋のひずみは増加せず、NO.1、NO.2では200(tf)程度、NO.3では160(tf)程度で増加し始める。コンクリートのひび割れが進行するに従って、円周筋の引張りの負担が大きくなるため円周筋の量の少ないNO.3の供試体では、低い荷重レベルで引張りひずみの増加が始まっている。

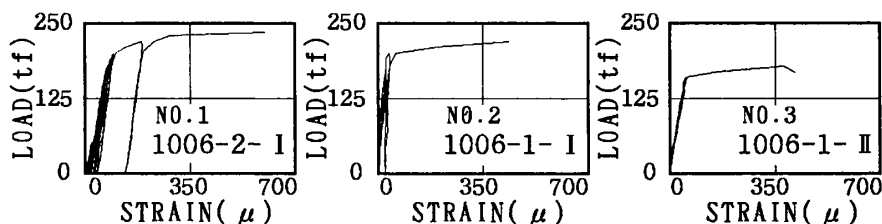


図-18 荷重-円周方向筋ひずみ (外側)

5. まとめ

正負交番繰り返し曲げ試験による主な試験結果 ①各耐力算定には、従来の計算式(CALC-1)を適用出来る。特にPC鋼棒降伏までは、耐力、変位ともに試験値と計算値は概略一致する。②接合構造は一体構造と比較して粘りのない破壊性状を示す。接合構造や、断面に占める定着金具の大きさなどが影響を及ぼすものと思われる。③当試験での接合方法では、円周筋や幅止め筋の靱性向上に対する有効性を確認することは出来なかった。④当接合構造のエネルギー吸収能は、RC構造とは異なる挙動を示す。これは、導入プレストレス量が荷重-変位履歴に影響しているため、今後はプレストレス導入量の違いによる影響の程度を検討する必要がある。

せん断試験による主な試験結果 ①一体構造と接合構造では、初期の剛性に若干の違いはあるものの、耐力はほぼ同等といえる。むしろ円周方向鉄筋の量が、せん断耐力に及ぼす影響が大きい。②接合構造の接合面には、ズレは生じず、有効に応力を伝達している。③実測のせん断耐力値は、道路橋示方書によるせん断耐力値を十分満足している。

参考文献：

- 1) 福井 次郎・中野 正則・高木 繁・大越 盛行：プレキャスト円環橋脚(PC構造)のせん断試験に関する一考察、土木学会第49回年次学術講演会 概要集第5部、pp796-797,1994.9
- 2) 大越 盛行・中野 正則・高木 繁：プレキャスト円環橋脚(PC構造)の曲げ試験に関する一考察、土木学会第49回年次学術講演会 概要集第5部、pp798-799,1994.9
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編、1990年
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書・設計編、平成3年版、1991年