

(14) スプライス PC 構造の継手構造に関する実験的研究について

ドービー建設工業(株) 本社設計部 正会員 今村 晃久
 同 上 正会員 ○天野 明子
 同 上 正会員 毛利 忠弘
 北海道大学大学院 工学研究科 正会員 角田 與史雄

1. はじめに

工場製プレテンション・プレキャスト桁と場所打ち桁をポストテンション鋼材で一体化を図った「スプライス PC 構造」を成り立たせる上で、その両部材の接合部である打継目の検証が重要な課題であり、設計的検証¹⁾に加え、模型供試体を用いた実験的検証²⁾を行った。その結果、本構造の妥当性と安全性を確認することができたが、継手長短縮を目的に重ね継手と比較したループ継手に関して、以下のような結果が得られた。

- ① ループ継手部の鉄筋歪み値が重ね継手に比べて小さく、継手部にひび割れが発生しない。
- ② プレキャスト側の鉄筋歪み上昇が大きく、供試体によっては付着すべりが発生した。
- ③ 打継目のひび割れ成長が速く、ひび割れ幅も重ね継手の供試体に比べて大きい。

上記の結果を得て、本構造にループ継手を採用するためには、ループ継手に関する定量的検証が必要と考え、継手性状に着目した実験を行うこととした。今回は重ね継手とループ継手の比較と共に、先の①の特徴に着目し、打ち継目におけるひび割れ成長を意図的に遅らせる目的で、ループ鉄筋を打ち継目に配置した場合の検証を合わせて行った。

2. 実験概要

2.1 実験目的

前回の実験では、スプライス PC 構造の特徴を再現し、① コンクリート強度差、② 断面変化、③ 横方向拘束力、④ 継手種類等を供試体パラメータとして盛り込んだため、先のループ継手の性状を明確に把握することが出来なかった。そこで今回は、継手性状だけをパラメータとなるよう供試体を設計し、静的載荷実験を行った。本実験の主たる目的は、継手種類の違いによる初期ひび割れ発生荷重、終局耐力およびひび割れ幅の比較にある訳だが、併せて前回実験の考察結果を打継目部のひび割れ制御に利用すべく、打継目に跨る

ように配置したループ継手(以降、アンクラック継手と呼称する)の効果検証も目的とした。

2.2 供試体概要

今回の実験では、継手種類が異なる5体の供試体を用意した。重ね継手が K-1 供試体、ループ継手が R-1 供試体、アンクラック継手に関しては、ループの長さが 15cm、20cm、30cm のものを各々 U-1、U-2、U-3 供試体とした。供試体形状は全て同一とし、梁高 350mm、幅 250mm の断面で、全長 3m、後打部の材令差は 2 日間として、中央で打継目を設けた。打継目は型枠に硬化遅延

表-1 供試体諸元

NO.	記号	打継目	断面形状	強度 (N/mm ²)	鉄筋継手種類	備考
1	K-1	有	矩形	40	重ね継手	継手長: 225mm
2	R-1	有	矩形	40	ループ継手	継手長: 200mm
3	U-1	有	矩形	40	アンクラック継手	ループ長: 150mm
4	U-2	有	矩形	40	アンクラック継手	ループ長: 200mm
5	U-3	有	矩形	40	アンクラック継手	ループ長: 300mm

表-2 供試体耐力計算値

終局耐力		耐荷力		ひび割れ	
曲げ	せん断	曲げ	せん断	幅	間隔
kN・m	kN	kN	kN	mm	mm
38.549	104.05	81.156	208.11	0.248	179

材を塗布し、脱型後に洗い出し処理を行った。供試体諸元を表-1に、耐力計算結果を表-2に示す。継手サイズに関しては、重ね継手は参考文献3、ループ継手は参考文献4に従って定め、アンクラック継手についてはループ継手のサイズ(20cm)を規準に15cm、20cm、30cmとした。供試体の形状と鋼材配置を図-1に、使用材料の諸元を表-3から表-5に示す。

2.3 試験方法

試験は、荷重載荷位置を打継目で想定する破壊がおこるように定めた単純梁の二点静的載荷試験とし、ひび割れ発生後と鉄筋降伏確認後の2回除荷を行い、その後破壊まで載荷することで行った。供試体には、両載荷点と打継目に変位計を、鉄筋には打継目左右約500mmの区間に約50mmピッチで添付した歪みゲージで計測を行い、等曲げモーメント区間の引張鉄筋位置2段に設置したコンタクトゲージ(10cm間隔)を用いひび割れ幅を計測した。図-2には載荷位置と共に、断面力の作用状態も表示した。

3. 実験結果

3.1 破壊性状

全ての供試体は曲げ引張破壊となった。目視では各供試体共に約30kNで打継目にひび割れが発生し、荷重増加によりそれ以外の部分に新たなひび割れが発生した。

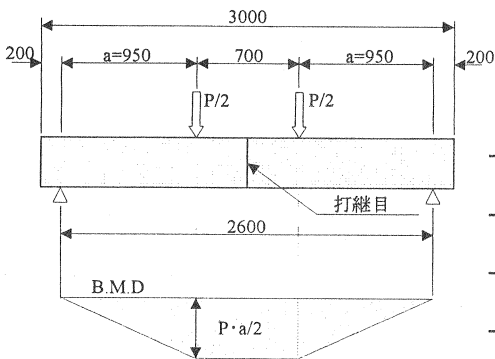


図-2 載荷状態

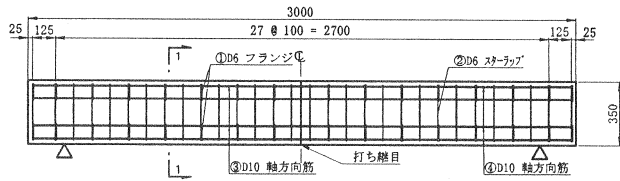


図-1a 側面図

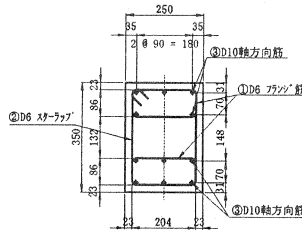


図-1b 断面図

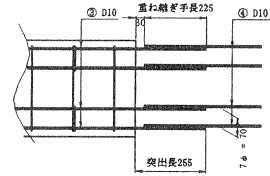


図-1d 重ね継手

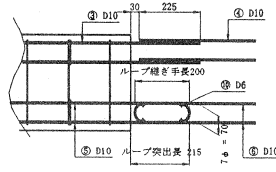


図-1c ループ継手

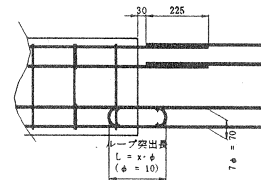


図-1e アンクラック継手

図-1 供試体形状と鋼材配置

表-3 鋼材の機械的性質

鋼材の種類	断面積 (mm ²)	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	伸び (%)
SD295A D6	31.67	375	516	210	27
SD295A D10	71.33	371	511	210	27

表-4 コンクリートの配合表

設計 基準 強度 (N/mm ²)	粗骨材 最大 寸法 (mm)	空気量 (%)	w/c (%)	細骨 材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
40	20	4.5	40.5	40.0	170	420	692	1028

表-5 コンクリートの力学的性質

供試体	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
K-1	13	42.2	3.2	31.7
	15	37.7	3.0	30.3
R-1	19	43.9	3.3	32.2
	21	41.8	3.2	31.6
U-1	21	43.4	3.3	32.0
	23	39.5	3.1	30.8
U-2	17	38.1	3.0	30.4
	19	34.8	2.8	29.4
U-3	11	38.9	3.1	30.7
	13	37.0	3.0	30.1

K-1 供試体(重ね継手):継目部にひび割れが入った後、計算ひび割れ間隔³⁾と同程度に左右のひび割れが発生したが、継目部のひび割れ成長が最も速く、ひび割れ幅も他のひび割れに比べ大きなものとなり、継目部の鉄筋が降伏した後、破壊に至った。尚、試験後においてもひび割れが閉じることは無かった。

R-1 供試体(ループ継手):基本的な性状に関しては K-1 供試体と同様であったが、載荷試験終盤まで、ループ継手区間にひび割れの発生は無かった。

U-2・U-3 供試体(アンクラック継手 20cm・30cm):継目部のひび割れ発生荷重は、他と同様であったが、その後の成長は遅く、継手部左右に発生したひび割れが急速に成長した。破壊に至っても継目部のひび割れは図心までしか達しておらず、ひび割れ幅も発生段階からの増加は見られなかった。継手左右のひび割れ位置の鉄筋が降伏した後、破壊に至った。また、試験後において、継目部のひび割れが完全に閉じていることを確認した。

U-1 供試体(アンクラック継手 15cm):継目部のひび割れに関しては、幅、成長共に U-2、U-3 供試体と同様であったが、左右のひび割れの発生は K-1、R-1、U-2、U-3 供試体では新たなひび割れが発生しながら進展したのに対して、U-1 供試体のみがひび割れ間隔が広く、新たなひび割れが発生せずに、初期段階のひび割れが成長していった。また、K-1 供試体以外の各供試体において、ループ部外側のひび割れは 30kN～40kN 程で発生しているのに対して、U-1 供試体では最終段階の約 85kN でループに沿うように発生した。各供試体の載荷試験後のひび割れ状況を図-3に示す。

3.2 考察

(a) ひび割れ発生荷重と耐荷力について

ひび割れ発生荷重と耐荷力について、計算値と実験値の比較を表-6に示す。耐荷力に関しては、継手種類による差異は無く、計算値に対して25%～31%程度高い結果となった。ひび割れ発生荷重については、アンクラック継手を用い

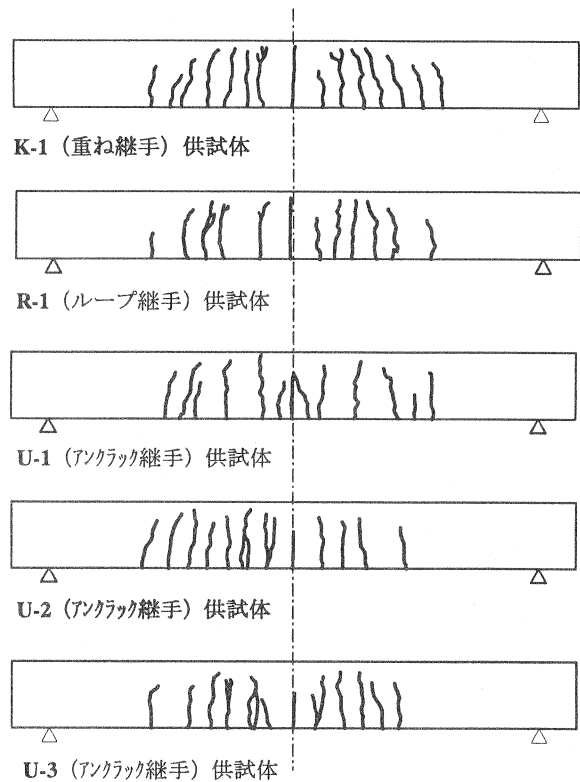


図-3 供試体のひび割れ状況

表-6 計算値と実験値の比較

供試体	ひび割れ発生 (kN)		耐荷力 (kN)	
	計算値	実験値	計算値	実験値
K-1	31.0	25.5	81.2	105.8
R-1	31.0	24.5	81.2	104.4
U-1	31.0	30.4	81.2	102.5
U-2	31.0	29.4	81.2	106.1
U-3	31.0	29.4	81.2	102.2

表-7 ひび割れ間隔の比較

80kN時	最大間隔	最小間隔	平均値
K-1	18.7	11.6	14.1
R-1	19.4	8.5	14.5
U-1	22.7	14.2	18.1
U-2	15.5	8.5	11.8
U-3	14.0	10.5	11.9
終了時	最大	最小	平均
K-1	15.2	8.4	11.7
R-1	19.4	8.5	14.5
U-1	22.7	4.9	12.1
U-2	15.5	8.5	11.8
U-3	14.0	10.5	11.9

た供試体が若干高い値となったが、本数値は目視によるものであり、荷重載荷ステップが5kNであったこと、また、図-4の継目部における荷重-ひび割れ幅の関係からも打継目を有する供試体では荷重-ひび割れ幅の関係から明確なひび割れ発生ポイントを定めることが困難であること等から判断し、打継目部の鉄筋配置や継手種類によってひび割れ発生荷重に明確な差は生じないと考える。参考文献5にあるように、打継目を有する部材は、ひび割れを内在していると考えられ、ひび割れ成長を抑制するための方法として、従来から行われている引張り縁付近にプレストレスを与える方法の他に、アンクラック継手が有効な手段となり得るものと考ええる。

(b) ひび割れ幅について

各供試体の継目部における荷重-ひび割れ幅の関係については、アンクラック継手を用いたU-1~U-3 供試体と他の供試体で明らかな差を確認できた。図-4 に示したように、U-1~U-3 供試体では、打継目部鉄筋の降伏が起きないため、K-1 供試体や R-1 供試体のような降伏後のひび割れ幅増大が見られず、載荷初期における成長も鈍い。これは、図-5 に概念を示したループ効果によるものと考えられる。つまり、部材に引張応力が作用する状態で、向い合せに配置され

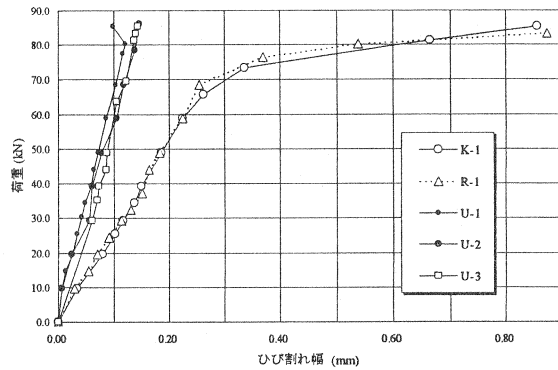


図-4 継目部における荷重-ひび割れ幅

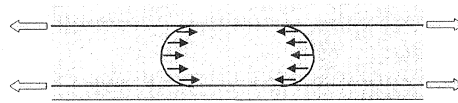


図-5 ループ効果概念図

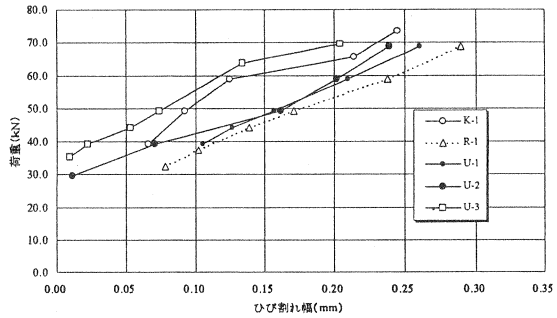


図-6 継目部外側の荷重-ひび割れ幅

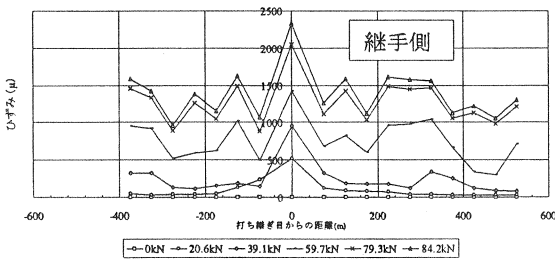


図-7 鉄筋歪み分布 K-1(重ね継手) 供試体

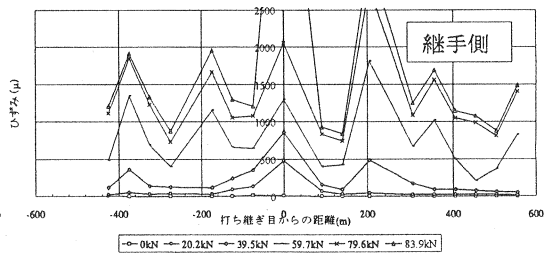


図-8 鉄筋歪み分布 R-1(ループ継手) 供試体

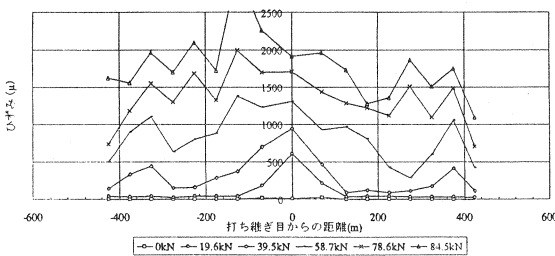


図-9 鉄筋歪み分布 U-2(アンクラック継手) 供試体

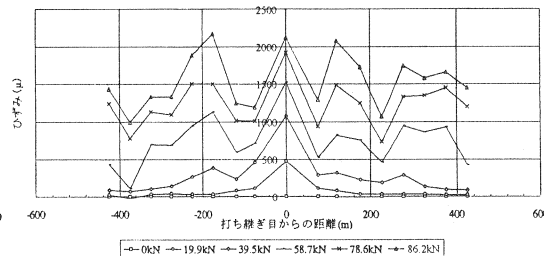


図-10 鉄筋歪み分布 U-3(アンクラック継手) 供試体

たループコア内部に圧縮応力が発生し、引張歪みを低減させていると考えられる。この効果は事前に行った非線形破壊解析でも確認することができた。これは、打継目部のひび割れ成長抑制という点で良好な結果であるが、全歪みエネルギーが等しいと考えると、本効果によってループコア外側に悪影響を与える可能性があると考え、継手部外側のひび割れ幅に関する検証を行った。図-6に継手部外側の荷重-ひび割れ幅の関係を示すが、載荷荷重 70kN 付近で全ての供試体が 0.20mm~0.30mm のひび割れ幅となっており、その影響はひび割れ幅には表れていない。次に下縁引張鉄筋の歪み分布を、図-7に K-1 供試体、図-8に R-1 供試体、図-9に U-2 供試体、そして図-6におけるひび割れ幅に関して最も良好な結果を示した U-3 供試体を図-10に示す。尚、継手部は鉄筋量が2倍になっているため、両方の鉄筋に添付した歪みゲージの値を足し合わせて表示した。K-1 供試体では打継目の左右でほぼ対称な歪み分布となっており、打継目部で歪みが卓越した形となっているのに対して、R-1 供試体ではループ継手部の歪みが小さく、その両外の歪みが非常に大きな値となっている。ひび割れ幅としては顕著な差が表れなかったが、歪み分布ではループ効果の影響を確認することができた。本実験ではループコアの左右にほぼ同程度の歪みピークが生じたが、鉄筋やコンクリートの状態の相違による付着性状が異なり、片側に歪み分布が偏った場合は、ひび割れ幅にも影響を及ぼすと考えられる。図-9の U-2 供試体では、歪み分布の偏りが確認できた。ただ、アンクラック継手の場合、打継目の歪みピークがループコア内にあることから、3箇所歪みが分散し、重ね継手やループ継手に比べて、小さなひび割れ幅になったと考えることができる。ループサイズを 30cm に設定した U-3 供試体では、図-10に示すように歪み分布が K-1 供試体より分散した状態になっていることから、アンクラック継手は打継目のひび割れ成長を抑制すると共に、歪み分布をコントロールする効果を有することが確認できた。今後、ループ継手とアンクラック継手を使用するには、歪み分布をコントロールするための定量的研究が必要と考える。

(c) 変形性状について

各供試体毎の打継目位置での荷重-変位の関係を図-11、図-12、図-13に示す。尚、アンクラック継手を用いた供試体については、U-3 供試体に関するもので代表させた。図からも明らかなように、継手種類の違いによる部材変形性状に変化は見られない。変位復元特性に関しても差異は無く、通常の RC 構造と同様のヒステリシスを描いた。本実験からは変形性状に対して、継手種類の影響は無いと結論付けられるが、ループ効果による歪み分布に偏りが生じた場合には、参考文献2にあるように、変形への影響が出る可能性もあり、今後の検証対象と考える。

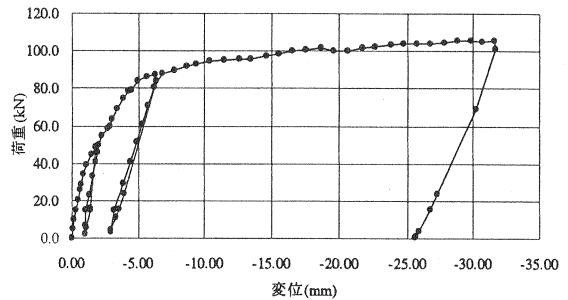


図-11 打継目の荷重-変位 K-1 供試体

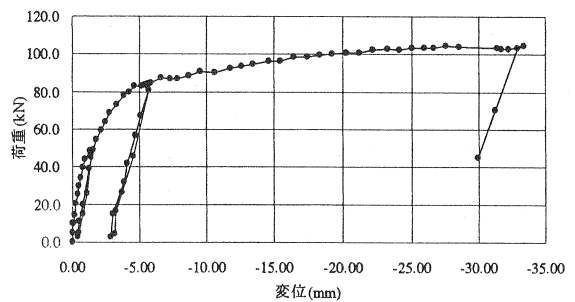


図-12 打継目の荷重-変位 R-1 供試体

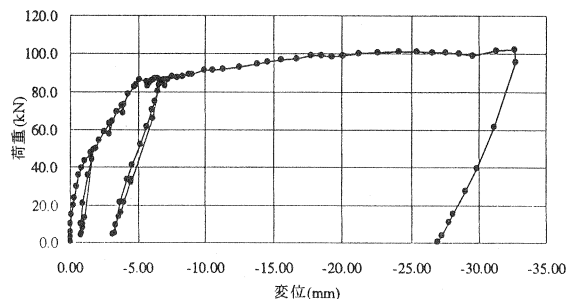


図-13 打継目の荷重-変位 U-3 供試体

4. まとめ

スプライス PC 構造で不可避の打継目における鉄筋継手の性状把握を目的として、小型模型供試体に対する載荷実験を行った。その実験の範囲内で得られた知見を以下に述べる。

- (1) 打ち継目のひび割れ発生荷重は、継手種類によって大きな変化は無く、洗い出し程度の打継目処理で土木学会式³⁾による計算値と良く一致した。
- (2) 耐力力に関しても継手種類による影響は見られず、土木学会式³⁾で安全側の値を示す。
- (3) 重ね継手とループ継手を用いた供試体に関しては、ひび割れ幅、間隔、変位量の測定値に差異は無く、継手性能に明確な差を確認出来なかったが、ループ継手は継手部鉄筋とその左右の歪み分布に大きな差が発生することが確認できた。奥行き方向の鉄筋間隔を実験パラメータとしていないため、定量的検証は出来なかったが、ループ継手を集中配置する場合には重ね継手との明瞭な差が生じると考える。
- (4) アンクラック継手を用いた供試体は、そのループサイズに関わらず、打継目のひび割れ成長を抑止する効果が確認できた。ループサイズが小さくなると、引張り歪みを相殺する効果が大きくなり、U-1 供試体で見られたように広いひび割れ間隔となって現れる。今回の実験で使用上の下限サイズは 20cm 程度と考えられるが、30cm でも十分な効果が認められたため、上限サイズに関しては判断することが出来なかった。奥行き方向の鉄筋間隔と共に、今後の課題と考えている。
- (5) アンクラック継手では継目部のひび割れが抑制される分、左右のひび割れに影響が出ると考えられるが、ループサイズを調整することで、歪み分布をコントロールし、影響を小さくすることが出来る。

従来の継手を用いた供試体が継目部で破壊したことから考えても、打継目の有する構造はひび割れを内在した構造と考えることが出来るが、アンクラック継手を配置することで、通常部へひび割れを誘導出来ることが確認された。スプライス PC 構造の場合、ひび割れを許容しない PC 構造では何ら問題のないことが確認されているが、今回の実験で PRC 構造のようなひび割れ制御を行う構造に対しても適用の可能性が確認できた。さらに、ループサイズや間隔に関する定量的な検証を進めることで、コンクリート構造全般における打継目補強の一助になるものと考えている。

[謝辞]

実験計画から供試体作成、計測に至るまで、北海道大学大学院 工学研究科の佐藤 靖彦助手さらに、同大学院生 田所 敏也君、高橋 良輔君、山口 隆一君、関谷 圭介君、恒岡 聡君、長井 宏平君の多大なる御協力を戴いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 今村晃久、毛利忠弘、石戸良平、加地 久 : スプライス PC ホロー構造の特性について、第 8 回 プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集 p203~208
- 2) 今村晃久、毛利忠弘、天野明子、角田與史雄 : スプライス PC 構造に関する実験的研究について、第 9 回 プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集 p115~120
- 3) 土木学会 : コンクリート標準示方書 設計編 平成 8 年制定
- 4) DIN 1045 Beton und Stahlbeton -Bemessung und Ausführung-
- 5) 今村晃久、毛利忠弘、天野明子、角田與史雄 : スプライス PC 構造に関する実験的研究について、コンクリート工学年次論文集、Vol.22、No.3、2000、p847~852
- 6) 二羽淳一郎、山田一字、横沢和夫、岡村 甫 : せん断補強筋を用いない RC はりのせん断強度式の再評価、土木学会論文集 第 372 号/V-5、p167~176
- 7) 伊藤忠彦、山口隆裕、池田尚治 : プレキャストセグメントはりの曲げせん断特性に関する実験的研究、プレストレストコンクリート Vol.39、No.1、p83~96