

# プレキャストPC素材で補強したコンクリート 連続合成はりに関する基礎的研究

松 本 進

(受理 昭和 53 年 5 月 31 日)

## FUNDAMENTAL STUDY ON THE CONTINUOUS COMPOSITE BEAM REINFORCED WITH PRECAST PC ELEMENTS

Susumu MATSUMOTO

In ordinary reinforced concrete, to protect steel bars from corrosion is one of the most important problems. In order to solve these problems, the allowable tensile stress of bars is limited under certain values. From the point of corrosion of steel, instead of steel bars the use of precast prestressed concrete elements is undoubtedly effective, especially in applying to ocean structures. Using the precast concrete elements, not only for the reinforcement but also for the form, this kind of composite structures will be more economical. The author has continued on studying fundamentally this kind of determinate composite structure for several years, and the results concerning these has been published in JSCE and JCI etc..

This time, in order to promote the practical use of this kind of composite structure, indeterminate composite structures such as a continuous beam have been studied. Based on the test results, the characteristics of the continuous composite structures subjected to a bending moment were discussed.

### 1. 緒 言

近年、プレキャストコンクリート製品を利用したコンクリート構造物の活用にはめざましいものがある。例えば、コンクリートブロックによる合成橋梁、プレキャスト JIS 桁を使用した合成橋梁および大径プレキャスト PC パイルを用いた橋脚等が挙げられ、これらのものはそれぞれに良好なる成果を収めている。

プレキャストコンクリートの活用は上記に挙げたものにとどまらず、さらに広汎なる利用が考えられるのであって、その一つとして筆者はプレキャスト PC 素材を補強材として利用すると共に型枠材としても用いて、場所打ちコンクリートと接合した合成構造の開発を行ってきた。この種のコンクリート合成構造に関する一連の基礎的研究についてはその成果を既に数篇学会に報告した通りであって、場合によってはこの種のコンクリート合成構造の方が通常の鉄筋コンクリート構造やプレストレストコンクリート構造にくらべ、省力化および急速化施工の可能性を明らかにした。<sup>1)2)3)</sup>

本研究は上記のプレキャスト PC 素材で補強した合成構造の研究の延長上の一つとして連続合成はりの問題—正・負のモーメントを同時に受けた場合の力学的性状、中間支点におけるプレキャスト PC 素材の定着および中間支点における沈下が不静定力に及ぼす影響等の問題を取上げ、この種合成構造の力学的特性を明らかにするものである。

### 2. 使用材料および実験方法

#### 2-1. 使用材料

実験に使用したコンクリートは場所打コンクリートとプレキャストコンクリートの 2 種類である。場所打コンクリートの圧縮強度および弾性係数は  $281 \text{ kg/cm}^2$ ,  $2.24 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  程度のものであり、プレキャストコンクリートのそれぞれは  $500 \text{ kg/cm}^2$ ,  $2.7 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  程度のものである。これら両コンクリートの示方配合を表-1に示す。

鉄筋コンクリートはりの主鉄筋には異形鉄筋を使用

表1 コンクリートの配合

コンクリートの種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
						水	セメント	細骨材	粗骨材	AE 剤量
場所打ちコンクリート	20	8 ± 2	2	58	54	159	350	932	812	—
プレキャストコンクリート	20	8 ± 2	2 ± 1	36.8	42	167	470	709	1022	5.64

表2 設計曲げモーメント作用時の計算応力度等

供試体の種類	中間支支点		載荷点		破壊荷重 (t)
	計算引張応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )	許容引張応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )	計算引張応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )	許容引張応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )	
RC はり	1782	1800	1601	1800	23.9
合成はり	1723	1800	90	90*	26.1

\* プレキャスト PC 素材の有効プレストレスとした。

し、径 13mm、降伏点応力度 3000kg/cm<sup>2</sup> のものであった。また、プレストレス導入に使用した鋼材は降伏点応力度 13000kg/cm<sup>2</sup> 程度の径 7.4mm の異形 PC 鋼線を用いた。

2-2. 実験供試体

実験に使用した供試体は図-1に示す通りであって、(a) プレキャスト PC 素材で補強したコンクリート合成連続はり（合成連続はり）と比較検討のための (b) 鉄筋コンクリート連続はり（RC 連続はり）の 2 種類であり、両者ともに 2 径間連続はりとなっている。

現在、鉄筋コンクリート構造物の設計は許容応力度設計法で行なわれているが、プレキャスト PC 素材で補強したこの種合成構造物の設計方法は確立されていない。この様な設計事情の中で本実験では、この種合

成構造物と鉄筋コンクリート構造物の比較検討を次に示す二つの考え方に立脚して行なった。なお、この場合の計算結果を表-2に示す。

- (1) 設計荷重作用時において、鉄筋コンクリート構造物の主鉄筋に作用する引張応力度が許容引張応力度以下となるようにし、また、合成構造物の場合にはプレキャスト PC 素材に作用する引張応力度が恰度有効プレストレスとなるように設計した。
- (2) 終局時においては、RC はりも合成はりも曲げ引張破壊を起すとして、両者の終局モーメントがほぼ同一となる様に設計した。

上記の仮定に従って計算した結果の詳細については図-1に示したとおりであって、(a) 合成連続はりおよび (b) RC 連続はりともにスパンが 150 cm の 2 スパ

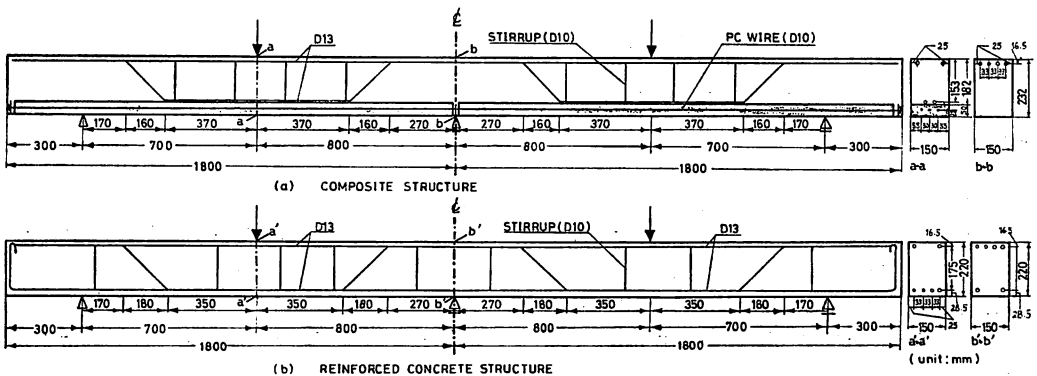


図-1 実験供試体

ン連続はりとなっている。合成はりの断面は1.5×23.2cmの矩形断面であって、スパン中央断面では断面引張側に5×15cmのプレキャストPC素材（プレストレス量90kg/cm<sup>2</sup>）を型枠兼補強材として配置しており、中間支点上の断面は通常の鉄筋コンクリートばりと同様の構造となっている。また、中間支点上では右スパンおよび左スパンの主鉄筋（ここではPC鋼材）は単に突き合せただけとした。また、プレキャストPC素材の定着としては素材を支点より外側に30cm程度出し、その端部よりPC鋼材のみを多少取出してナットとアンカープレートで場所打コンクリートに埋込んだものである。

2-3. 実験方法

図-2は実験方法の概略を示したものである。荷重は荷重フレームを通して行ない、2点集中荷重である。両端支承の一端は線支承とし、片端は球面座つきの2個のロードセルである。また、中間支承のものは球面座つきの1個ロードセルとなっている。供試体の設置に当っては水平となる様にセメントペーストを用いて注意深く行なった。

荷重方法は4回の繰返し荷重であって、最初の3回までは設計荷重まで荷重を行ない、4回目の荷重で破壊に至らしめた。

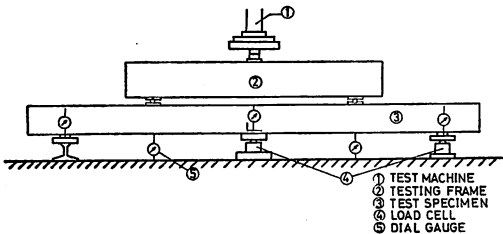


図-2 実験方法

測定としては、ワイヤーストレインゲージにより主鉄筋の歪およびコンクリート表面の歪を、ダイヤルゲージ(1/100mm)で各支点のたわみを、ロードセルにより支点反力の測定を各荷重段階毎に行なった。また、コンクリート表面に発生したひびわれの発達状況も併せて観察・記録を行なった。

3. 結果および考察

3-1. ひびわれ性状

本実験の場合、図-1に供試体の断面を示したように、合成連続はりの中間支点上における断面は基本的にはRC連続はりと同じのものであると考えられるため、中間支承近辺に存在する負の曲げモーメント領域に生じる曲げひびわれは合成連続はりおよびRC連続はりとも余り変化がないものと考えられるが、一方スパン中央における正の曲げモーメント領域では合成連続はりの断面下縁にはプレキャストPC素材が配置されていてそのプレストレスにより、曲げひびわれの生じ方はRC連続はりとは異なった様相になると考えられる。

図-3は合成連続はりおよびRC連続はり表面に生じた曲げひびわれの観察結果を示したものである。これより、負の曲げモーメント領域における曲げひびわれの生じ方は合成連続はりおよびRC連続はりとも同様一すなわち、曲げひびわれの発生荷重、本数および間隔等はほぼ相似していることが認められる。一方、正の曲げモーメント領域における合成はりの曲げひびわれについてRCはりとはかなり異なる点は(1)曲げひびわれ発生荷重は素材に導入したプレストレスにより合成はりの方が大きい。(2)引張側の場所コンクリート部に曲げひびわれが生じてもプレキャストPC素材

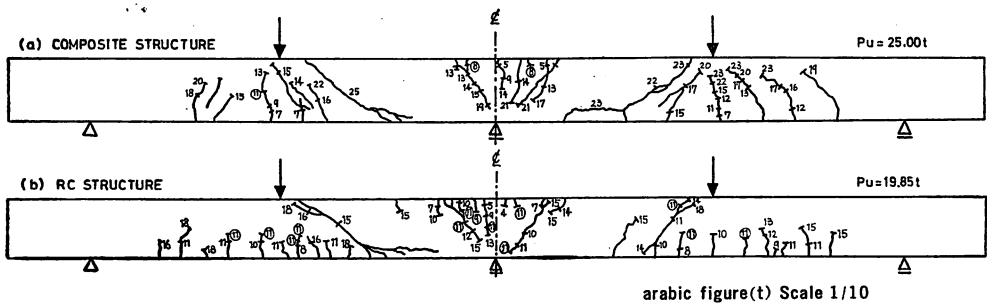


図-3 供試体表面に発生したひびわれ

には曲げひびわれが生じないことがある。および (3) 破壊時近辺においてプレキャスト PC 素材と場所打コンクリートとの接合面に水平方向のひびわれが一部生じること等があげられる。その他、ひびわれの分布および本数等については合成はりおよび RC はりともに余り遜色がないことが認められる。

以上のことから、合成連続はりの場合にはプレキャスト素材にプレストレスを導入されているため設計荷重用時 (荷重 11t) に曲げひびわれを生じさせない様に設計することが可能であり、したがってこの種合成構造物の方が鋼材の腐食の観点からみれば、鉄筋コンクリート構造物に比べてかなり耐久的なものとすることができ、また通常のプレストレスコンクリート構造物に似た耐久性能を有させ得る可能性があると考えられる。

3-2. モーメント分布

一般に、不静定構造物においては不静定力をいかに正しく求めるかが重要な問題となる。この様な不静定力の算定に当っては弾性理論による線構造体として解析されるのが通常である。実際の構造物は2次元もしくは3次元構造物であることが多く、この様な構造物が弾性理論解によるものとは必ずしも一致しないことが認められている。また、中間支点が何らかの原因で不等沈下や弾性変形を起すような場合には上記の不静定力はそれぞれに応じて変化してくることが考えられる。この様な問題に対して、土木学会鉄筋コンクリート標準示方書ではある程度の対処がなされているが、明確にはされていない所もあると考えられる。以上の様なことから、ここでは曲げモーメント分布の観点から上記の問題に対して検討を行なった。

図-4は試験に際して支점에設置したロードセルから反力を計算し、この反力に基づいて曲げモーメント分布の実測値を各荷重段階について示したものである。なお、図中には三連モーメント法により求めたモー

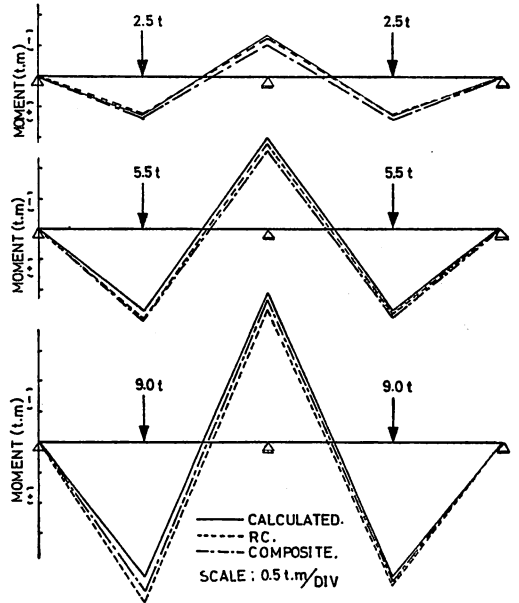


図-4 曲げモーメント分布の数例

ント分布の計算値を併せて示す。同図より、曲げモーメント分布について合成連続はりおよび RC 連続はり共に実測値と計算値との間にはかなり良い近似がみられ、また全般的には次の様な傾向一すなわち (1) 負の曲げモーメントの実測値はいずれの場合も計算値より小さい。(2) 正の曲げモーメントの実測値はどの場合にも計算値よりも大きい。(3) 実測の曲げモーメント分布の性状は全体的正の曲げモーメントの方に移動している。こと等が認められる。この様な傾向になる原因としては前記した様に支点変位および線構造解析がまず考えられる。特に、支点変位の影響についてはたわみの実測結果 (表-3参照) が得られているので、この支点変位の影響を考慮に入れて弾性計算をしてみると、図-5に示した曲げモーメント分布図の一例にみられるように、支点変位の影響により、正の曲げモー

表3 各点の実測たわみ

荷 重	左載荷点		中間支承点		右載荷点	
	RCはり	合成はり	RCはり	合成はり	RCはり	合成はり
P= 5t	0.15	0.21	0.49	0.23	0.07	0.09
P=11t	0.15	0.34	0.57	0.37	0.12	0.17
P=18t	0.17	0.35	0.76	0.42	0.20	0.10

\* 単位は mm

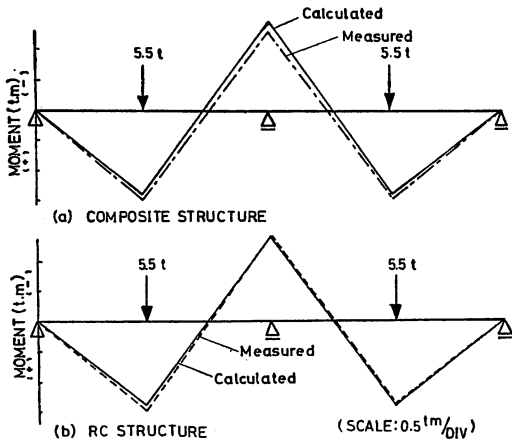


図-5 沈下を考慮に入れた曲げモーメント分布の一例

メントが2~13%程度小さくなり、より実測値に合致することが認められる。また、線構造解析による影響については本実験では中間支点の幅が小さく、また支点変位を考慮した計算値が実測値に88~104%程度とほぼ合致していることから考えて、本供試体に及ぼすその影響は極めて少ないものとなったと考えられる。

### 3-3. 変形性状

図-6および図-7は合成連続はりの載荷点および中間支点における荷重歪の実測値の一例を実線で示したものである。なお、同図には破線で計算値をも併せて示した。また、図-8および図-9はRC連続はりの載荷点および中間支点の荷重歪の実測値の一例を同様に示したものである。

図-6より、合成連続はりの載荷点における歪性状を詳細にみると、荷重が小さい範囲では変形性状は弾性的であることが認められ、荷重5tにおいて、まず場所打コンクリート部分に曲げひびわれが生じる。この場合、プレキャストPC素材には未だ曲げひびわれは生じていない。この曲げひびわれが生じたのち、一時変形が大きくなり、荷重7tにおいて断面下縁に配置されたプレキャストPC素材に曲げひびわれがわずかに生じる。なお、この曲げひびわれは図-3にも示しているようにPC素材断面を全部横切るようなひびわれではなく、PC素材断面全面に曲げひびわれが生じるのは設計荷重11t程度のときである。設計荷重11tまでの繰返し載荷を数回行っても合成はりの変形性状はかなり弾性的であり、しかも残留変形がかなり少ないことが認められる。設計荷重を超えると場所打コン

クリートの塑性的性質の影響を受けて変形は大きくなり、荷重25tで破壊に至った。一方、RC連続はりの

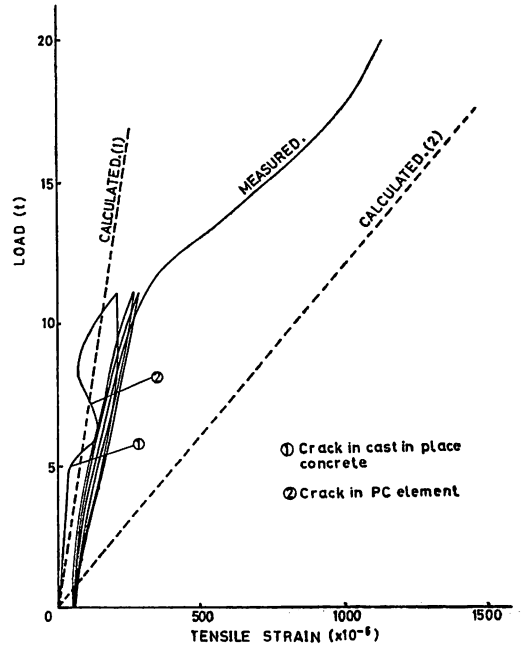


図-6 連続合成はりの載荷点における変形性状の一例

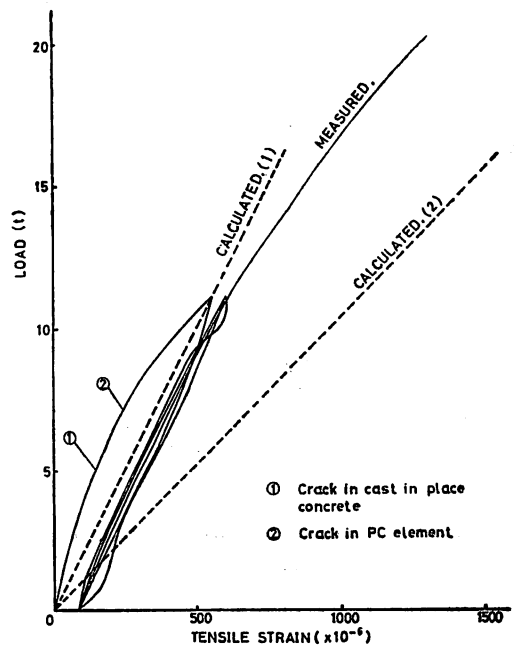


図-7 連続合成はりの中間支点における変形性状の一例

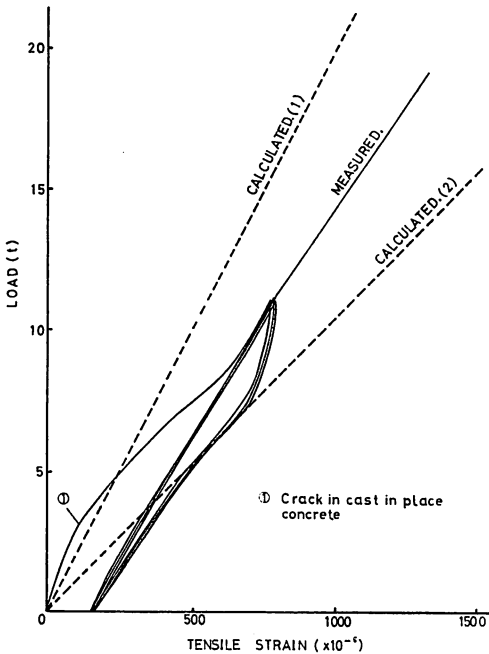


図-8 連続RCはりの載荷点における変形状の一例

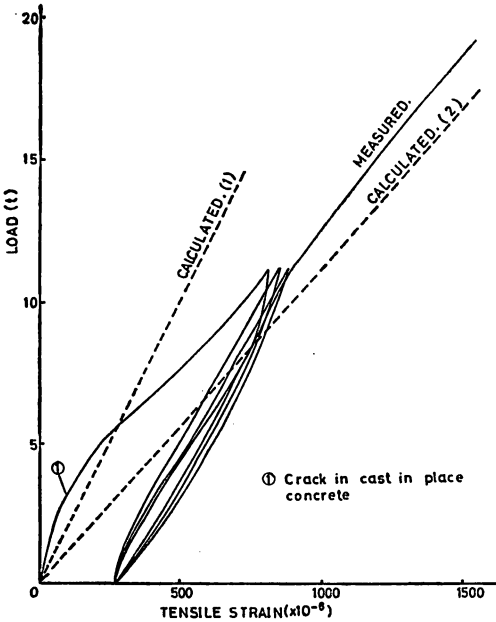


図-9 連続RCはりの中間点における変形状の一例

載荷点における変形状は図-8をみる通りである。すなわち、荷重3tで場所打コンクリートに曲げびわれ

が生じた。その後荷重が増大するにつれて変形は大きくなりこの段階初期でコンクリートの塑性的性質の影響がかなり認められる。設計荷重11t以下において数回の繰返し荷重を受けた場合の変形性はかなり弾性的であるが、処女荷重を受けた場合の残留変形がかなり大きなものとなっていることが認められる。設計荷重11t以上になると変形は徐々に大きくなり、荷重19.85tで破壊に至った。

以上、載荷点下における合成連続はりおよびRC連続はりの変形状について述べたものであるが、このことより、合成連続はりについて(1)プレキャストPC素材の剛性を利用できるので、設計荷重下における曲げ剛性を大きいものとするのが可能であり、曲げ変形も極めて弾性的なものとする事ができる。(2)設計荷重下において、プレキャスト素材に曲げびわれが生じない様に設計することが可能であるので、鋼材の腐食の点から極めて耐久的となる。(3)図-6～図-9中に示した計算値は実測値と良く合致していることが認められ、このことより、プレキャストPC素材を通常の鉄筋コンクリートはりの計算における鉄筋と同様に取扱えば、その変形を弾性理論で表わすことが十分に可能であること等の特徴が認められる。なお、中間支点における変形状は合成はりの場合もRCはりの場合も、それぞれの断面形状はRC構造となっているので、図-7および図-9にもみられる様にほぼ同様の変形状を有していることが認められる。

#### 4. 結 言

現在、プレキャストコンクリート製品を活用した土木構造物は種々のものがあり、それぞれに良好な成果を収めている。これから将来にわたってもプレキャストコンクリート製品が土木建設業において担う役割は増々重大なものになってくるものと考えられる。

本研究はプレキャストPC製品を活用する一つの方法として場所打コンクリートとの合成構造を考えたものであって、ここではプレキャストPC素材で補強した合成連続はりの主として力学的特性について検討を加えたものである。実験の数が少ないので確定的なことはいえないが、実験の範囲から次のことがいえると思われる。

- (1) プレキャストPC素材で補強した合成はりでは設計荷重下においては素材に曲げびわれを生じない様に設計することが可能であるので、

曲げ剛性が大きく取れ、復元特性に優れる。  
また、鋼材の腐食の点からは極めて耐久となる。

- (2) 不静定構造物とした場合、支点の沈下や弾性変形等が不静定モーメントに及ぼす影響はある程度考慮に入れる必要が認められる。

本研究は楢岡静夫氏(現熊本県庁勤務)に昭和52年度卒論研究として取上げられた所に負うものが多く、研究の実施に当っては徳永勝己氏(現南日本高圧コンクリートKK勤務)および前村政博技官に数多くの御協力を賜った。ここに慎んで感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 松本 進：プレキャストPC素材で補強したコン

クリート合成構造の力学的特性に関する基礎研究  
土木学会論文報告集246号，1976年2月。

- 2) 第2回異形鉄筋シンポジウム：土木学会コンクリートライブラリー，第14号，1965年12月。  
3) 大浜・小林：プレキャストコンクリート連続合成はりの力学的挙動に関する研究，土木学会論文報告集，第206号，1972年10月。  
4) 横道・岡田他4名：コンクリートにおけるプレキャスト部材の活用，土木学会誌，Annual'74。  
5) 山口隆一：プレキャストPC素材の接合に関する基礎的研究，鹿児島大学工学部卒業論文，昭和51年度。  
6) 岡田・神山：プレストレストコンクリートの設計，国民科学社，1968年。  
7) コンクリート標準示方書，土木学会。  
8) プレストレストコンクリート設計施工指針，土木学会，昭和36年度。