

PC 桁カップリング継目部プレストレス分布

猪 股 俊 司*

移動支保工を用いた PC 連続橋架設技術の発展とともに、当初孔あき PC 連続床版橋架設に限られていた本工法も、最近では PC 連続箱桁橋にも適用されている。箱断面の場合には、すでに完成した区間に配置されているすべての緊張材を、その区間腹部端断面で緊張定着し、次の施工区間の緊張材とカップラーによって接続され、次施工区間先端で緊張される。一般の設計計算では、カップリング継目断面プレストレスは慣用計算で求められ、断面内で線形分布であるとしている。しかし実際のプレストレス分布は腹部近傍に集中し、上下床版部プレストレス値は慣用計算値より小さく、断面内プレストレスは非線形分布となる。したがってこのカップリング継目断面床版部には、曲げひびわれ発生危険性が大きい。

安井、海津両氏はコンクリート工学（1988 年、Vol. 26, No. 9, pp. 81-90）に論文を発表し、孔あき断面のカップリング継目断面プレストレスは非線形分布となることを、F.E.M. 解析および実測結果から明らかとしている。かつ応力集中傾向を緩和する一法として空隙を設けることを提案した。

国内設計規準にはカップリング継目断面設計法に関する規定はない。筆者の知る限りでは、ドイツ DIN 4227, Teil 1; 10.4 条およびフランス BPEL 83; 6.1.5 条にそれぞれ設計に関する規定が示してある。DIN ではこの断面プレストレスは非線形分布となることを強調し、ひびわれ制御用最少鉄筋量についての詳細な規準を示している。BPEL 83 では、すべての緊張材を箱断面腹部でカップリングするような設計とはせず、緊張材の一部

は新旧両施工区間にわたって連続した緊張材配置とすることを要求している。解説では継目断面に配置される緊張材本数の 1/2 程度はカップリングされず連続配置されることが望ましいとしている。継目断面に配置される軸方向鉄筋断面積算定には、プレストレス力の 1/3 を減少させた値を用いて、慣用計算でプレストレス分布を求め、使用状態でⅢ種（PPC）の条件が満足されることを要求している。

以上 DIN, BPEL いずれもカップリング継目断面を慣用法で設計したのでは、PC 連続橋の弱点となりうる危険性のあることを考慮に入れている。したがって、国内においてもこの方面に関する設計規準の整備は急を要するものと思われ、カップリング継目近傍でのプレストレス分布の非線形性について、設計技術者の一般的注意を喚起する必要がある。

したがって、最も簡単な実験によってカップリング継目近傍プレストレス分布状況を明らかとすることは、設計技術者の注意を喚起するのに最も有益な方法と考えられる。供試体は断面 165×700 mm、全長 2×1700 mm のコンクリート平板（図-1）である。断面中央に配置した直径 32 mm の PC 鋼棒（シース径 40 mm）によってプレストレスを与える。PC 鋼棒はその全長にわたってネジが造られており、第 1 区間プレストレス時は、第 2 区間との打継目となる断面を緊張側とし、PC 鋼棒の中心断面をナットによって定着した。したがって、この状態では PC 鋼棒長の約 1/2 は第 1 区間から出たままであり、第 2 区間プレストレス時には

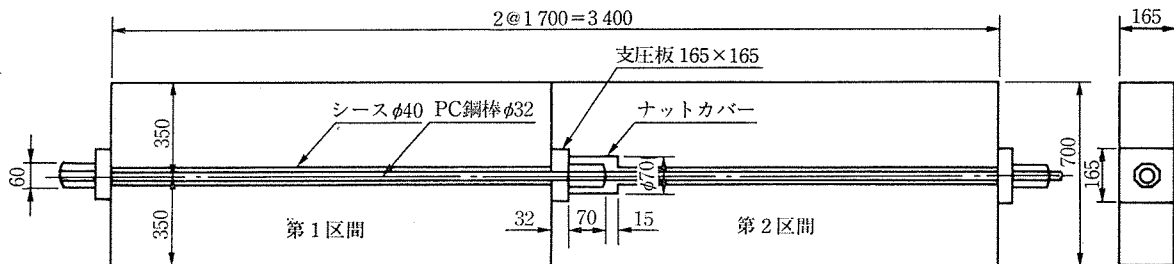
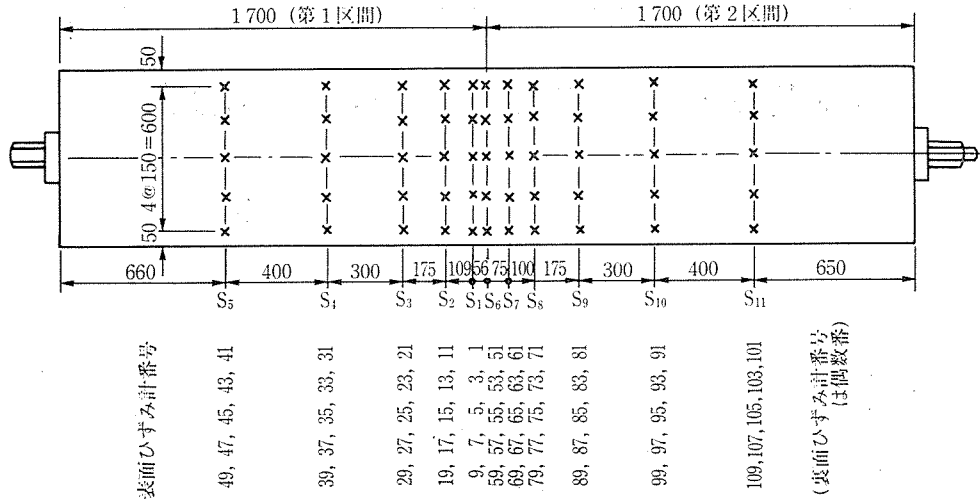


図-1 供試体寸法 (単位: mm)

* (株) 日本構造橋梁研究所代表取締役会長、愛知工業大学教授



図—2 軸方向ひずみ測定断面位置と測点

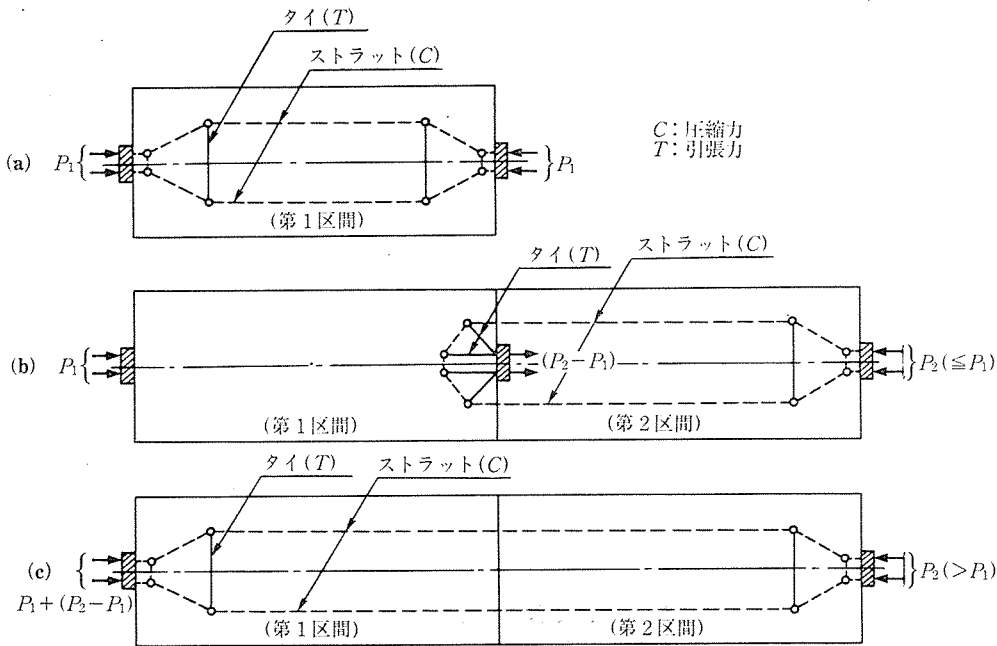
PC 鋼棒にカプラーを取り付ける必要はない。第1区間定着用ナットの移動余裕量 15mm をとった径 70mm の絶縁用カバーを配置し、セメントペースト流入を防いである。

第1区間材令7日 ($f_{cm}'=475 \text{ kg/cm}^2$) のとき 50t までのプレストレス力を第2区間との打継目側端面を緊張側として作用させ定着した。その後直ちに第2区間コンクリートを施工、この区間コンクリート材令7日 ($f_{cm}'=507 \text{ kg/cm}^2$) のとき第2区間端を緊張側として、70t までのプレストレス力を作用させ定着した。

プレストレスリング時コンクリート軸ひずみを、平板の表裏両面で合計 110 点で測定した (図—2)。測定ひずみから応力を求める場合のヤング係数は、1断面で軸

方向 5 点の測定ひずみがほとんど等しくなる断面 (第1区間 S_4, S_5 ; 第2区間 S_{10}, S_{11}) での平均ひずみと、作用させたプレストレス力から求められる等分布プレストレス値とを用いて定められた。 $E_c \times 10^{-5} (\text{kg/cm}^2)$ は第1区間コンクリート材令7および14日でそれぞれ 3.07 および 3.27, 第2区間コンクリート材令7日で 3.04 であった。F.E.M. 解析および測定ひずみ値から応力を求める場合、いずれも上記 E_c 値を用いた。

実験結果の理解に役立つため、プレストレスリング時プレストレス力の平板内での流れ状況を視覚的に明らかとしておくのが便利である。このため圧縮、引張応力にそれぞれ抵抗するためのストラット・タイ・モデル (Strut-and-tie Model) を示すものとする (図—3)。



図—3 プレストレスリング時のストラット・タイ・モデル

(1) 第1区間プレストレスング時モデルは 図-3 (a) のようになることは広く知られているところである。

(2) 第2区間プレストレスング時プレストレス力 P_2 と、第1区間に作用しているプレストレス力 P_1 との大小によって次の2つの場合に区別される。

1) $P_2 < P_1$ の場合のモデルは 図-3 (b) のようである。この場合、第1区間プレストレス力増加は生じないが、継目断面 PC 鋼棒支圧板支圧応力は P_2 とともに減少する。すなわち、支圧板位置コンクリート面に引張応力を作用させたと同等であり、支圧板背後の第1区間内にこの引張応力に抵抗するタイが形成され、ストラットは支圧板背後で屈曲し、これを取りまいた形状で形成される。

したがって、図-3 (b) の継目断面に形成されるタイ区間から離れた第1区間プレストレス測定値は、 $P_2 < P_1$ 範囲で0である。一方、このタイ形成区間では、平板中心軸近傍では引張プレストレスが作用し、平板縁端近傍では圧縮プレストレス分布となる。

2) $P_2 > P_1$ の場合のモデルは 図-3 (c) のようになり、供試体全長にわたって 図-3 (a) モデルと同様なものとなる。よって継目断面の第1区間で、 $P_2 < P_1$ のとき形成されるタイ区間から離れた第1区間でのプレストレス増分は $(P_2 - P_1)$ となる。一方このタイ区間では $P_2 = P_1$ のとき作用していたプレストレスは、 $(P_2 - P_1)$ による平均プレストレス値だけ一様に増加させられることとなる。

第2区間プレストレスング作業中、第1区間での代表的な断面でのプレストレスと P_2 との関係を上記の説明に従って表すと 図-4 のようになる。すなわち 図-4 (a) は、断面 S_5 の等分布プレストレスが $P_2 < P_1$ 範囲では0であり、 $P_2 > P_1$ となると、等分布プレストレス

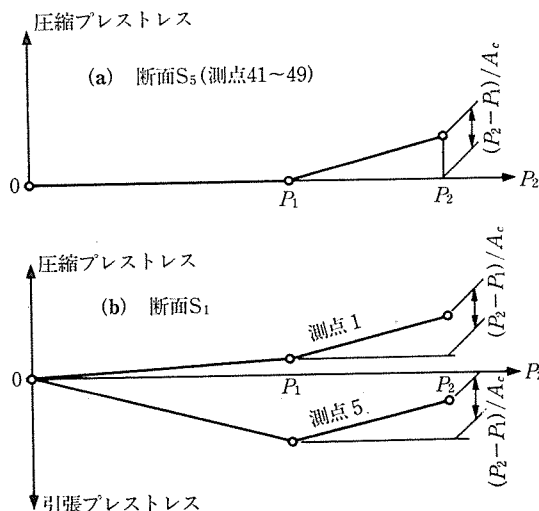


図-4 第2区間プレストレスング時の第1区間代表断面 S_5 , S_1 での測定プレストレスと P_2 との関係

増分は $(P_2 - P_1)/A_c$ (A_c はコンクリート断面積) となることを示す。図-4 (b) は、断面 S_1 ($P_2 < P_1$ 範囲ではストラットが形成される断面) の中央測点5と縁端測点1とのプレストレスと P_2 との関係を示すもので、 $P_2 < P_1$ 範囲では、測点5および1でそれぞれ引張プレストレスおよび圧縮プレストレスとなることを示している。 $P_2 > P_1$ では 図-3 (c) のモデルとなるので、両測点ともに $(P_2 - P_1)/A_c$ だけ圧縮プレストレスが $P_2 = P_1$ 時のプレストレスから増加することを示すものである。

以下、実験で認められたプレストレス分布に関する特異点と上記の概念的説明とを対比する。

1) 第1区間プレストレス力 $P_1 = 50t$ における、断面 S_1 , S_2 , S_3 での測定プレストレス分布を 図-5 に示す。緊張端に近い断面ほど、平板中心部に応力集中を生ずる非線形プレストレス分布となり、図-

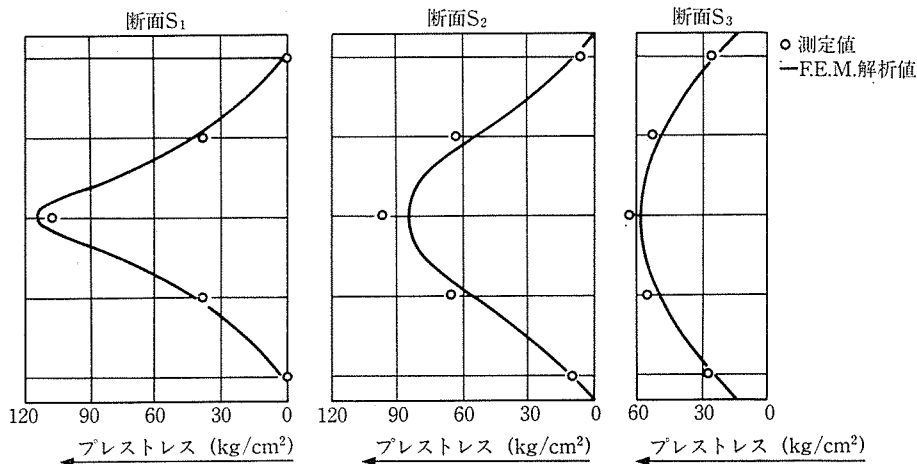


図-5 第1区間プレストレスング、 $P_1 = 50t$ 断面 S_1 , S_2 , S_3 プレストレス分布

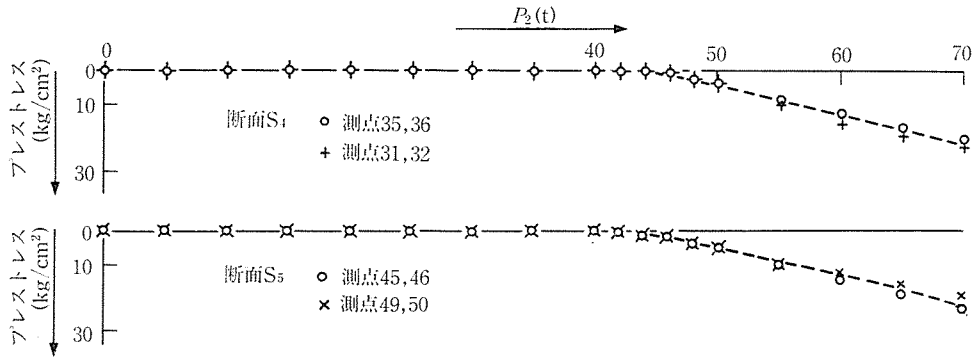


図-6 第2区間プレストレス時の第1区間断面 S_4 , S_5 プレストレスと P_2 との関係

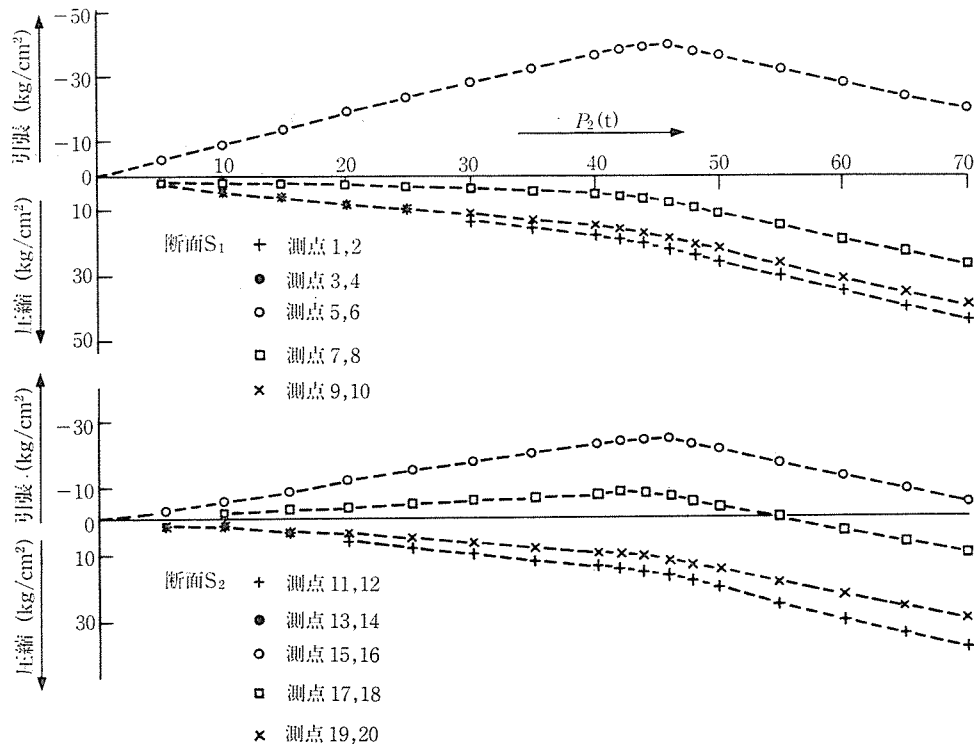


図-7 第2区間プレストレス時の第1区間断面 S_1 , S_2 プレストレスと P_2 との関係

3 (a) のモデルの性質と一致し、F.E.M. 解析結果とも一致する。平板幅にはほぼ等しい距離だけ離れている断面 S_4 , S_5 での測定プレストレスは等分布である。

2) 第2区間プレストレス時での第1区間断面 S_4 , S_5 のプレストレスと P_2 との関係を 図-6 に示してある。これは 図-4 (a) で説明したのと同じの性質のもので、 $P_2=44t$ まではプレストレスは 0 であり、 $44t$ をこえると、 $(P_2-44) \times 10^3 / 1155$ (kg/cm²) のプレストレスが作用してくることが明らかである。第1区間プレストレス時に、 $P_1=50t$ としてナット定着を実施したが、定着具セット、1週間内に生じた第1区間コンクリートの経時ひずみ変化等によって、第2区間プレストレス

グ時点では、第1区間 PC 鋼棒プレストレス力 P_1 は約 $44t$ に減少していたと考えられる。

3) 第2区間プレストレス時の第1区間断面 S_1 , S_2 でのプレストレスと P_2 との関係を 図-7 に示す。これらの断面は $P_2 \leq P_1=44t$ のとき 図-3 (b) モデルのタイ形成区間に含まれる。したがって 図-7 の傾向は 図-4 (b) と一致していることが明らかである。すなわち断面中心測点プレストレスは、 P_2 とともに増加する引張応力となるが、 $P_2 > 44t$ では 図-3 (c) モデルが形成されるため、 $(P_2-44) \times 10^3 / 1155$ (kg/cm²) だけ圧縮プレストレス増加がある。したがって断面中心および縁端いずれの測点についても $P_2=44t$ で折線となり、急激に圧縮プレストレス増加のあることを示している。図-

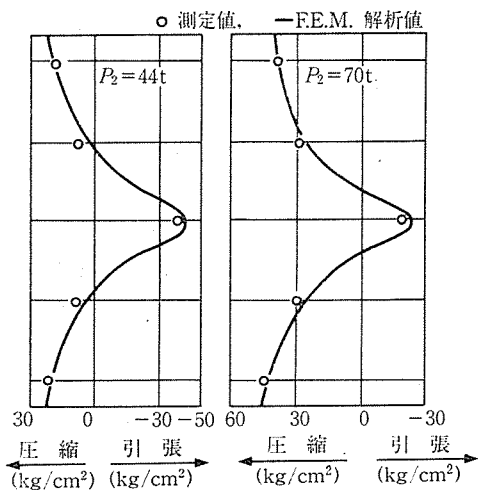


図-8 第2区間プレストレス時の第1区間断面 S_1 プレストレス分布

8 には第1区間断面 S_1 プレストレス分布を $P_2 = 44t$ および $70t$ の場合について示してある。F.E.M. 解析結果は測定結果とよく一致している。

4) 第2区間プレストレス時の継目断面に近い第2区間断面 S_7, S_8 でのプレストレスと P_2 との関係は図-9に示してある。図-3(b)のモデルから図-3(c)のモデルに $P_2 = 44t$ で変わることが明らかである。 $P_2 > 44t$ 範囲でのプレストレス増加は、すべての測点について同一であって、測定結果を示す直線はすべて平行となる。図-10に断面

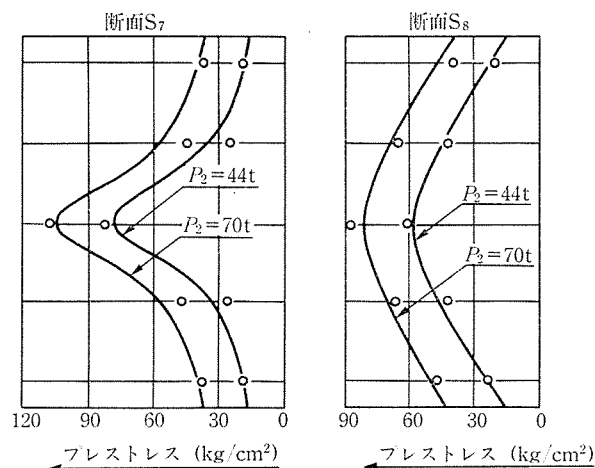


図-10 第2区間プレストレス時、第2区間断面 S_7, S_8 プレストレス分布

S_7, S_8 のプレストレス分布測定結果を示してある。F.E.M. 解析結果とは断面 S_8 では比較的よく一致しているが、断面 S_7 での一致はあまり良くない。これは継目断面の支圧板存在、ナットのカバーによって造られた空隙等の影響を F.E.M. 解析では、完全にモデル化されていないことによると考えられる。継目断面に近いほど、プレストレス分布の非線形は顕著にあらわれている。継目断面 S_8 プレストレス分布の測定結果が図-11に示してある。これはゲージ長 30mm 区間での平均値を示すものであ

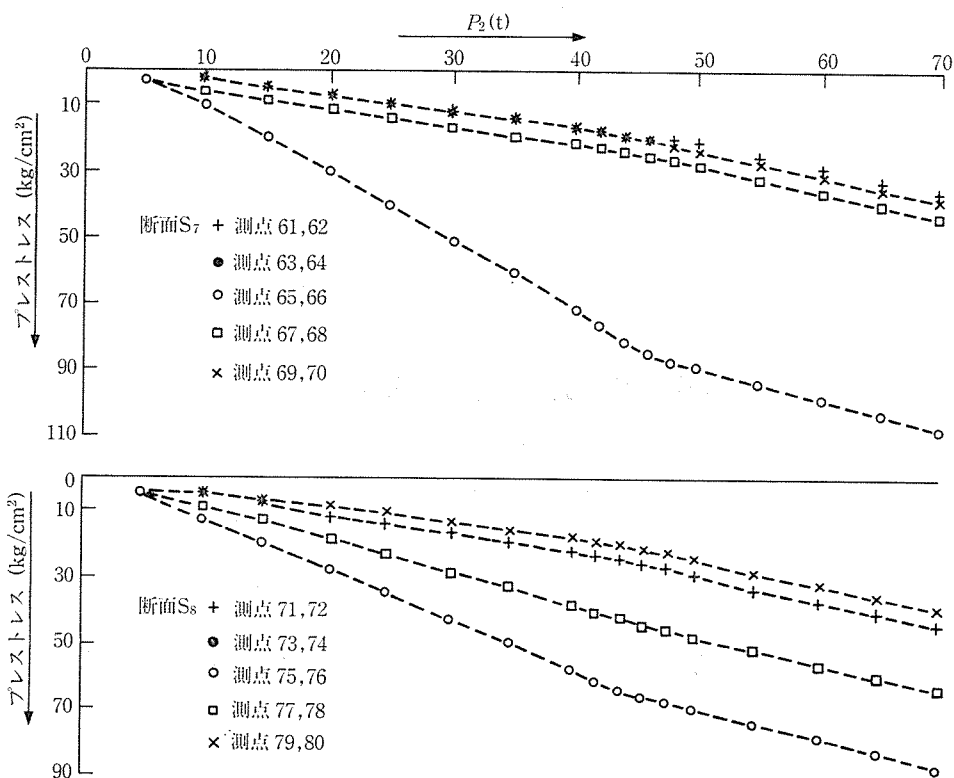
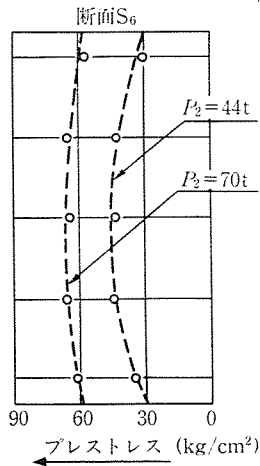


図-9 第2区間プレストレス時の第2区間断面 S_7, S_8 プレストレスと P_2 との関係



図—11 第2区間プレストレスング，継目断面
S₆ プレストレス分布

るが、 $P_2 > P_1$ となる $P_2 = 70\text{ t}$ に対しては等分布に近くなっているが、 $P_2 = P_1 = 44\text{ t}$ では中央区間応力の大きい非線形分布となっており、図—3 に示した (b)、(c) のストラット・タイ・モデルの相違が明らかである。

以上のことから明らかなように、カップリング継目近傍プレストレスは慣用計算で求められるものとは相当異なった非線形分布を示すものである。かつ緊張材軸線から離れたコンクリート維に与えられるプレストレス値は、慣用計算値より小さいものとなる。したがって箱断面腹部端断面でカップリングされる緊張材配置の場合、

床版部プレストレスは慣用計算値より小さいので、慣用設計法によるコンクリート応力検討では不十分であることが明らかである。

F.E.M. 解析は、プレストレス分布を定めるのに有効な手法ではあるが、通常的设计で常に3次元 F.E.M. 解析を実施することは容易でない。現在の F.E.M. 解析では、コンクリートひずみの経時的变化を考慮に入れることはできないので、プレストレスを与えた直後のコンクリート応力を定めることは可能としても、経時的にどのように変化するかは不明である。

したがって実用設計上は DIN, BPEL, のような規準がより有効なものと思われる。本実験は、カップリング継目近傍でのプレストレス分布が非線形となることに注意を喚起することがその主目的であり、箱断面カップリング継目近傍のひびわれ制御に関し、国内規準が皆無である現状を考慮し、設計にあたって参考にするのが望ましいと思われる外国の規準に言及したものである。

本実験は極東鋼弦コンクリート(株)の御厚意により同社平塚技術研究所において実施され、その結果の発表をも許可されたもので、同社藤田社長に感謝の意を表すものである。ひずみ測定およびその整理、F.E.M. 解析は芝浦工業大学生大部浩史君(現：三井共同建設コンサルタント)の労によるところが大である。F.E.M. 解析実施は、(株)日本構造橋梁研究所 林浩二君の指導によるものである。

◀刊行物案内▶

日本原子力発電敦賀2号機 PCCV

本書は、プレストレスコンクリート第28巻の特別号として発刊されたもので、我が国で初めて採用されたプレストレスコンクリート製原子炉格納容器(日本原子力発電(株)敦賀発電所2号機)に関して、その各種模型実験、設計・施工に至る各分野にわたり詳述した貴重な資料です。今後ますます多く採用されるであろう、この種 PCCV を取り扱う関係者にとって、必携の図書と確信します。

在庫限定につき、ご希望の方は代金を添え(現金書留かまたは郵便振替東京 7-62774)プレストレスコンクリート技術協会宛お申し込みください。

体 裁：B5判 128頁

頒布価格：3000円(送料：150円)