

鋼板・コンクリート合成版構造のプレストレス化に関する新しい試み

太田 俊昭*¹・日野 伸一*²・星隈 順一*³

1. はじめに

本研究で対象とする“合成版”構造は、型枠を兼ねる鋼板上にコンクリートを打設し、適当なずれ止めを介して両者を一体化したものである。周知のとおり、道路交通の急激な増加にともない、既設の鉄筋コンクリート床版（RC 床版）の破損例が増大する傾向にあり、早期補修や張替えのために最適な鋼板・コンクリート合成床版やプレキャスト床版の開発が求められており、それに関する各種開発研究が鋭意進められている。それらの一例として、1952年にフランスで開発された、ずれ止め材としてスタッドを用いるロビンソン型床版¹⁾、および著者らの開発による立体トラス型ジベルを有する合成床版²⁾（以下、TSC 床版と称する）を図-1に示す。プレキャスト PC パネル上に場所打ち RC 床版を合成した PC 埋設型枠合成床版³⁾もこれらと目的を一にするもの

と考えられるが、本稿では、合成床版を鋼板とコンクリートとを組み合わせたもの限定して論ずることとする。

以下に鋼板・コンクリート合成床版の特色を列記する。

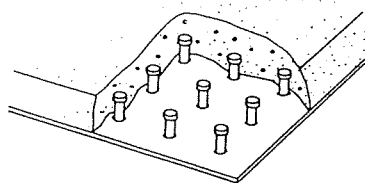
- 1) 現場施工の単純化、省力化、工期の大幅短縮が可能である。
- 2) 工場製作が可能のため、品質精度の向上が期待できる。
- 3) 型枠や支保工が軽減でき、かつ作業の安全性や桁下空間の確保がはかれる。
- 4) 版厚を薄くでき、死荷重の軽減が可能である。

このように、合成版構造は、鋼材とコンクリート材料のそれぞれのもつ短所を補完し、また長所を活用した合理的な構造として今後ますますその適用範囲を広げた実用化が進むものと考えられる。

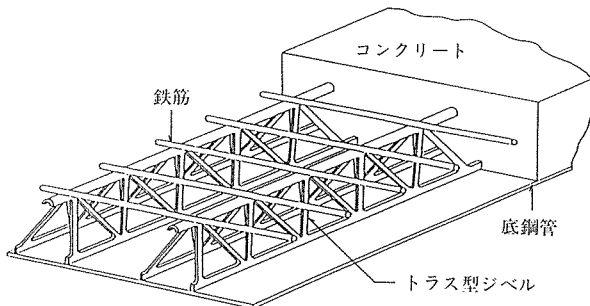
しかし、この種の合成版は、設計上ではひびわれを許容する RC 構造として取り扱われており、このため、コンクリートのひびわれ発生に伴う鋼板内面での腐食、耐久性の劣化やメンテナンスの難しさなどが問題視されている。さらに、今後、構造物の長大化とプレキャスト化が進む中で、より軽量で高強度、高剛性の複合合成版構造材の開発が強く望まれる。

このような背景から、本研究はこれまで顧みられていなかった鋼板・コンクリート合成版へのプレストレス化を試み、ひびわれ耐力や曲げ剛性に優れた PS（プレストレスト）合成版構造の開発・実用化を試みるものである。すなわち、本研究では、

- 1) 緊張材として新たに PC 鋼材を追加することなく、引張鋼板に低応力レベル（従来の 1/5~1/6）の引張力を導入することによってプレストレス化をはかること
- 2) プレストレス導入方法として、従来の PC 鋼材を用いた線材緊張方式ではなく、ポアソン効果を加味して、より効果的に 2 方向緊張を与える面材緊張方



(a) ロビンソン型床版



(b) TSC 床版

図-1 鋼板・コンクリート合成床版

*¹ Toshiaki OHTA : 九州大学工学部土木工学科教授

*² Shin-ichi HINO : 九州大学工学部土木工学科助教授

*³ Jun-ichi HOSHIKUMA : 九州大学大学院

◇論文報告◇

式を採用すること

などの独自の観点に立つ創意工夫を試みている。

本稿は、以上のような鋼板・コンクリート合成版のプレストレス化を実現するうえで解明すべき諸問題について、これまで著者らの研究室で実施した梁供試体を対象とした1軸プレストレスに関する一連の基礎研究の成果を取りまとめたものである^{4),5)}。

2. 合成梁へのプレストレス導入

2.1 鋼板・鋼棒緊張装置

本緊張装置は、プレテンション方式によるプレストレス鋼板・コンクリート合成版部材を製作するために、著者らが設計、試作した装置であり、2軸方向のプレストレス化が可能である。同装置は、写真-1に示すように箱形フレーム(4750×2100×760mm)と油圧負荷装置によって構成されている。構造は、鋼板2方向、鋼棒1方向の3種類の油圧シリンダーをそれぞれ単独に負荷できるようにになっている。各油圧ジャッキの載荷能力は、それぞれ鋼板長軸方向100tf、鋼板短軸方向120tf、鋼棒長軸方向70tfである。

2.2 供試体の製作とプレストレスの導入

前述の緊張装置を用いて、ずれ止め形式の異なる2種類の梁供試体(TSC合成梁、スタッド合成梁)を各2体、合計4体製作した。供試体の形状寸法は、幅200mm、高さ160mm(鋼板厚6mm)の長方形断面、長さ2100mmで、それらの詳細を図-2に示す。また、製作順序は、次のとおりである。

- ① ずれ止めを溶接した鋼板および鉄筋を、緊張装置上に設置したのち、治具を介してそれらの両端を緊張用ロッドに接合する。

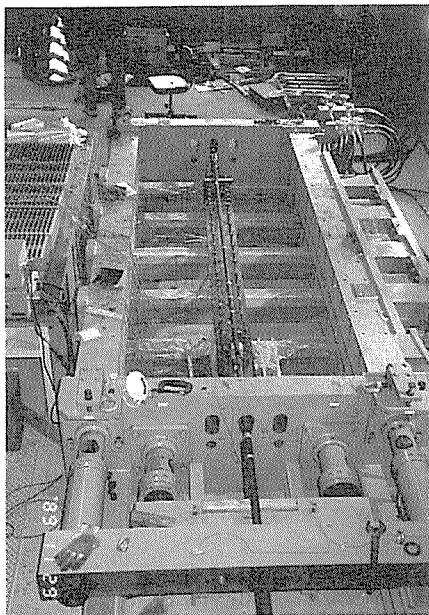
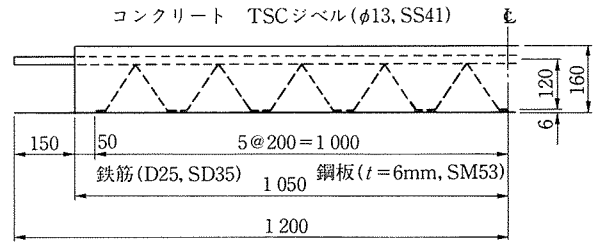
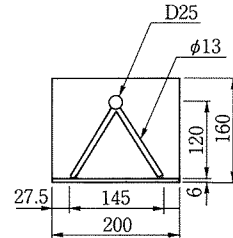


写真-1 鋼板・鋼棒2方向緊張装置

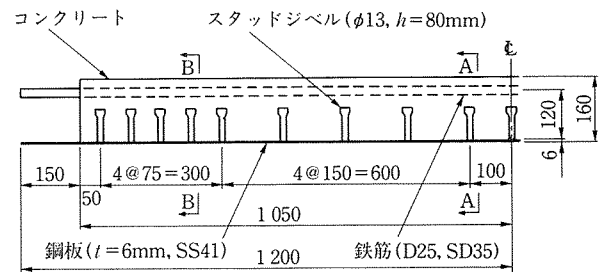


側面図

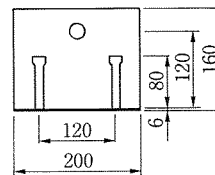


断面図

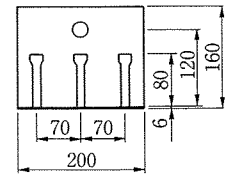
(a) TSC合成梁



側面図



A-A断面



B-B断面

(b) スタッド合成梁

図-2 供試体の諸元

- ② 油圧ジャッキを作動させ、鋼板と鉄筋を徐々に、かつ交互に緊張していき、両者に所定の引張力を導入した時点で、その張力を機械的に固定する。
- ③ 型枠をセットしたのち、コンクリートを打設し、1週間程度湿布で供試体を覆い、養生する。
- ④ 養生後、緊張用ロッドの張力を解放して、供試体にプレストレスを導入する。

表-1にコンクリートの配合を示す。使用セメントは早強ポルトランドセメント、粗骨材の最大寸法は20

表-1 コンクリートの配合

| W/C (%) | S/a (%) | 単 位 量 (kgf/m ³) | | | | | |
|------------|------------|-----------------------------|-----------|----------|----------|-----------|------------|
| | | 水 W | セメント C | 細骨材 S | 粗骨材 G | AE 減水剤 | 収 縮 低減剤 |
| 37 | 47 | 177 | 480 | 762 | 989 | 3.50 | 19.2 |

mmである。また、本構造では、通常のPC構造に比べて初期導入応力レベルが低く、コンクリートの乾燥収縮やクリープの影響によるプレストレスの減少が相対的に大きくなることへの配慮から、界面活性剤から成る収縮低減剤をセメント重量比で4%使用した(3.1参照)。また、使用鋼材は図-2に示すとおりである。

なお、ずれ止めの設計に対しては、TSCジベルに関する既往の研究結果⁶⁾ならびにスタッドに関する道路橋示方書⁷⁾の規定に基づき許容水平せん断力を計算し、それらの所要量を決定した。

表-2に各供試体に導入した鋼板および鉄筋の初期導入応力度と導入時および材令28日におけるコンクリートの圧縮強度試験結果を示す。緊張時からプレストレス導入、クリープ測定および曲げ載荷試験に至る一連のひずみ測定は、すべて鋼材およびコンクリートに予め貼付した電気抵抗線ひずみゲージならびに埋込み型ひずみ計を用いて行った。

表-2 初期引張応力度およびコンクリート強度試験の結果

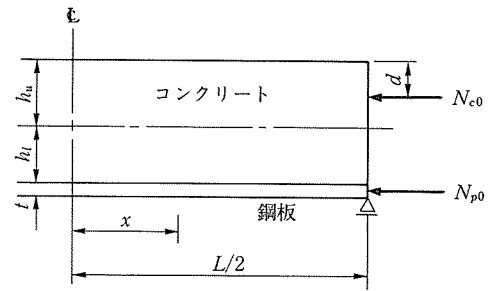
| 供試体の種類 | 引張応力度 (kgf/cm ²) | | コンクリート圧縮強度 (kgf/cm ²) | |
|--------|------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|
| | 鋼板 | 鉄筋 | プレストレス導入時 | 材令28日 |
| TSC 1 | 1 840 | 1 870 | 607 | 668 |
| TSC 2 | 2 450 | 2 370 | 563 | 671 |
| スタッド1 | 1 810 | 1 800 | 589 | 681 |
| スタッド2 | 2 530 | 2 530 | 605 | 710 |

2.3 不完全合成を考慮した導入プレストレスの算定法

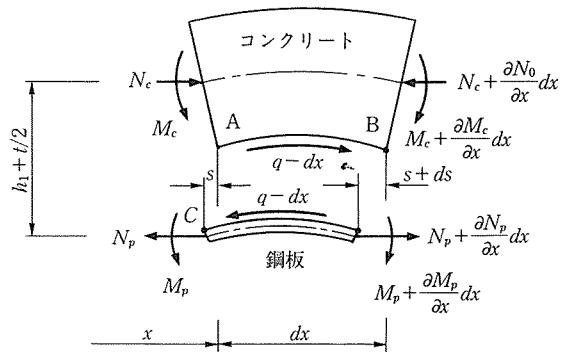
プレテンション方式の本構造における緊張鋼材の定着機能は、鉄筋では異形のフシ、また鋼板ではスタッドやTSCジベルなどのずれ止めによる機械的抵抗に依存する。ここでは、特に支配的な影響を及ぼす鋼板-コンクリート接合面の不完全合成を考慮した導入プレストレスの算定法について以下に記す。

今、図-3(a)に示すようにスパンLの単純支持された合成梁の両端から、コンクリートおよび鋼板にそれぞれ N_{c0} 、 N_{p0} の軸圧縮力が作用する場合について考える。(ここでは、鉄筋-コンクリートのすべりを無視し、コンクリート部を均質等方性材料と仮定する)。スパン中央よりxだけ離れた微小要素dxの断面に作用する諸力は、コンクリート部および鋼板部のそれぞれに軸力 N_c 、 N_p 、曲げモーメント M_c 、 M_p である。また、両者の接合面にはずれ(相対変位)が生じており、それに対応するせん断応力qが発生する(図-3(b)参照)⁸⁾。

以上の仮定に基づき、鋼板およびコンクリートの微小要素に対して力のつり合い式をたてると、次のとおりである(以下、添字 p, c は各々鋼板、コンクリートを示す)。



(a) 解析モデル



(b) 微小要素の力のつり合い

図-3 不完全合成理論

$$\left. \begin{aligned} N_c - \left(N_c + \frac{\partial N_c}{\partial x} dx \right) + q dx &= 0 \\ N_p - \left(N_p + \frac{\partial N_p}{\partial x} dx \right) + q dx &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

また、モーメントのつり合い式は、

$$\left. \begin{aligned} M_c - \left(M_c + \frac{\partial M_c}{\partial x} dx \right) + q dx \cdot h_c &= 0 \\ M_p - \left(M_p + \frac{\partial M_p}{\partial x} dx \right) + q dx \cdot \frac{t}{2} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

一方、弾性範囲の微小変形を仮定し、接合面のアップリフトの影響を無視すれば、図-3(b)の微小要素の接合面における各軸方向ひずみ ϵ_{AB} 、 ϵ_{CD} は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{AB} &= -\frac{nM_c}{E_p I_c} \cdot h_c - \frac{nN_c}{E_p A_c} \\ \epsilon_{CD} &= \frac{M_p}{E_p I_p} \cdot \frac{t}{2} + \frac{N_p}{E_p A_p} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 n : 弾性係数比 ($=E_p/E_c$)
 I_p, I_c : 鋼板、コンクリートの断面2次モーメント

E_p, E_c : 鋼板、コンクリートの弾性係数

A_p, A_c : 鋼板、コンクリートの断面積

今、接合面に働く単位長さあたりの水平せん断力をq、ずれ止めのピッチをpとすれば、ずれ止め1組あたりの水平せん断力-ずれの関係は次式で表される。

◇論文報告◇

$$p \cdot q = k \cdot s \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 k ：ずれ止め1組あたりのずれ定数で、既往の研究結果から、スタッドおよびTSCジベルのせん断方向のばね定数をそれぞれ $1.0 \times 10^5 \text{kgf/cm/本}^9)$ 、 $1.0 \times 10^6 \text{kgf/cm/組}^6)$ を採用した。

また、微小長さ dx の区間について、ずれ s と軸方向ひずみ ϵ_{AB} 、 ϵ_{CD} の関係は、

$$\left(s + \frac{\partial s}{\partial x} dx\right) - s = dx (\epsilon_{CD} - \epsilon_{AB}) \dots\dots\dots (5)$$

以上より、ずれ s とスパン中央からの距離 x との関係は、次の偏微分方程式で表される。

$$\frac{\partial^2 s}{\partial x^2} - \alpha^2 s = 0 \dots\dots\dots (6)$$

ここに、

$$\alpha^2 = \frac{k}{E_p p} \left\{ \frac{(h_t + t/2)^2}{I_0} + \frac{1}{A_p} + \frac{n}{A_c} \right\}$$

$$I_0 = I_p + I_c / n$$

ここで、次のような境界条件が成り立つ。

$$\left. \begin{aligned} x=0 \text{ (スパン中央) のとき, } & s=0 \\ x=\pm L/2 \text{ (スパン端部) のとき, } & \left. \begin{aligned} \partial s / \partial x = \epsilon_{c_0} - \epsilon_{p_0} \end{aligned} \right\} \dots\dots (7) \end{aligned} \right\}$$

式(7)の境界条件のもとに式(6)を解けば、接合面のずれ s は、次のとおり求められる。

$$s = \frac{\beta}{\alpha E_p} \operatorname{sech} \left(\frac{\alpha L}{2} \right) \cdot \sinh \alpha x \dots\dots\dots (8)$$

ここに、

$$\beta = \frac{n N_{c_0}}{A_c} - \frac{n N_{c_0} (h_u - d) h_t}{I_c} - \frac{N_{p_0}}{A_p}$$

さらに、式(8)の結果を用いて、鋼板およびコンクリートの各断面力は次のとおり算定される。

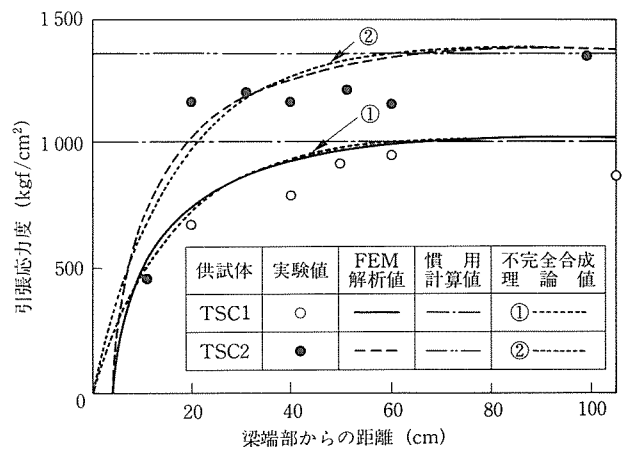
$$\left. \begin{aligned} N_p &= \frac{\beta k}{\alpha^2 p E_p} \operatorname{sech} \left(\frac{\alpha L}{2} \right) \\ &\quad \left\{ \cosh \alpha x - \cosh \left(\frac{\alpha L}{2} \right) \right\} - N_{p_0} \\ N_c &= \frac{\beta k}{\alpha^2 p E_p} \operatorname{sech} \left(\frac{\alpha L}{2} \right) \\ &\quad \left\{ \cosh \alpha x - \cosh \left(\frac{\alpha L}{2} \right) \right\} + N_{c_0} \\ M_p &= \frac{\beta k t}{2 \alpha^2 p E_p} \operatorname{sech} \left(\frac{\alpha L}{2} \right) \\ &\quad \left\{ \cosh \alpha x - \cosh \left(\frac{\alpha L}{2} \right) \right\} \\ M_c &= \frac{\beta k h_t}{\alpha^2 p E_p} \operatorname{sech} \left(\frac{\alpha L}{2} \right) \\ &\quad \left\{ \cosh \alpha x - \cosh \left(\frac{\alpha L}{2} \right) \right\} - N_{c_0} (h_u - d) \end{aligned} \right\} \dots\dots (9)$$

式(9)を用いて接合面の不完全合成を考慮した合成梁の導入直後のプレストレスを算出できる。

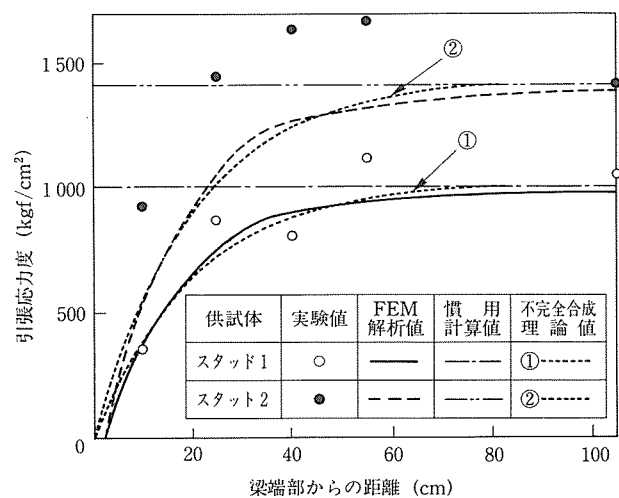
以上の解析とあわせて、一般的に鉄筋コンクリート構造の解析に多用されるボンドリック要素を用いた2次元有限要素解析も行った。解析法の詳細については割愛するが、接合面のずれ止め位置に仮想のせん断ばねを設け、それらのばね定数には上記の解析と同様の値を採用したものである。

2.4 実験および解析結果の比較

プレストレス導入直後の鋼板応力度について、前節に述べた不完全合成理論に基づく本解析および有限要素解析の結果と実験結果の比較を図-4に示す。図より、実験結果に多少のばらつきがみられるものの、スタッド2供試体を除き、本解析法や有限要素解析法によってプレストレス導入直後の鋼板応力分布をよく把握できることがわかる。なお、スタッド2において実験値と解析値に大きな差異がみられるのは、図示した応力の実験値がひずみの計測値に弾性係数を乗じたものであり、鋼板の緊



(a) TSC合成梁



(b) スタッド合成梁

図-4 鋼板の引張応力度

張を使用鋼材 SS 41 の降伏点付近で行ったため、鋼板が塑性領域に達したためと考えられる。

以上の結果により、一般の構造用鋼材を用いた本合成梁において、導入直後で $140\sim 170\text{ kgf/cm}^2$ のプレストレスの導入が推定されること、また、中央部の完全合成域の導入プレストレスの評価は従来の PC 理論を適用できること、さらに、端部の不完全合成域の導入応力度またはずれ止めの配置による定着長の評価に対しては、本解析法が比較的簡易で有用であることなどが明らかにされた。

3. プレストレスト合成梁のクリープ挙動の解明

3.1 コンクリートの乾燥収縮およびクリープひずみの低減

前述のように、高張力鋼材を用いた通常の PC 構造物に比較して、SS 41~SM 53 の構造用鋼材をそのまま緊張材として用いた場合、鋼材の初期引張応力レベルが $20\sim 30\text{ kgf/mm}^2$ と低いため、コンクリートの乾燥収縮やクリープの影響によるプレストレスの減少が大きな問題となる。たとえば、図-2 の断面について、鋼板および鉄筋にそれぞれ 1840 kgf/cm^2 , 1870 kgf/cm^2 の初期引張応力を与えたとし、コンクリートの有効プレストレスを土木学会コンクリート標準示方書¹⁰⁾に規定される材料定数を用いて試算してみる。その結果、導入直後にコンクリートに与えられる 140 kgf/cm^2 のプレストレスが、乾燥収縮・クリープ終了後にはほとんど消失し、プレストレスの効果が期待できない。これに対して、乾燥収縮ひずみとクリープ係数を示方書の規定値の 50% に低減できると仮定した場合、最終的におよそ 60 kgf/cm^2 の有効プレストレスの確保が可能となる。すなわち、本構造におけるキーポイントは、使用するコンクリートの収縮ひずみの低減化にあるといえる。

そこで本研究では、乾燥収縮ひずみを低減する目的で既に市販されている、主成分が有機化合物（ポリグリコール）から成る混和剤¹¹⁾（以下、収縮低減剤と称する）をコンクリートに混入して用いることとし、コンクリートの乾燥収縮、クリープおよび強度性状に対する収縮低減剤の最適混入率について実験的に検討する。

実験には $10\times 10\times 40\text{ cm}$ の角柱供試体を用い、収縮低減剤の混入率のみを変化させた配合のもとに、乾燥収縮試験にはセメント重量比の 0, 2, 4, 6% の 4 種類 (S-1~S-4)、クリープ試験には同じく 0.4% の 2 種類 (C-1~C-2) を用意した。配合の一例は表-1 に示すとおりである。

クリープ試験では、材令 9 日目に 7 日強度の約 25% の圧縮応力を供試体に導入した。なお、ひずみ計測には

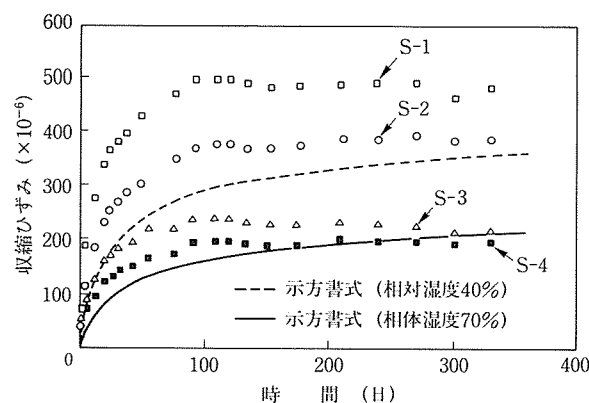


図-5 乾燥収縮ひずみの経時変化

表-3 フレッシュコンクリートの特性と材料試験の結果

| 供試体の種類 | 空気量 (%) | スランプ (cm) | コンクリート温度 (°C) | 28 日圧縮強度 (kg/cm ²) | 弾性係数 ($\times 10^5\text{ kg/cm}^2$) |
|--------|---------|-----------|---------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| S-1 | 4.0 | 17.0 | 15.5 | 650 | 4.04 |
| S-2 | 2.5 | 10.3 | 14.5 | 663 | 4.08 |
| S-3 | 2.5 | 7.2 | 15.5 | 677 | 4.14 |
| S-4 | 2.9 | 2.0 | 15.8 | 660 | 4.17 |

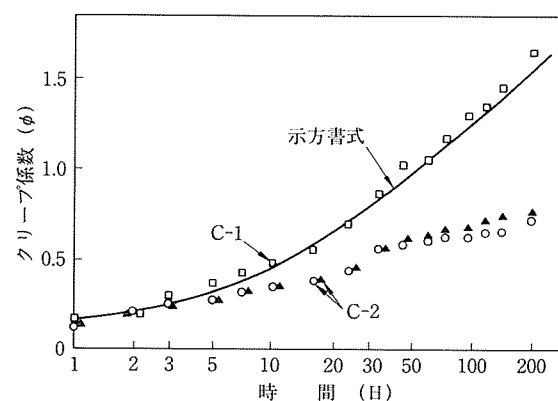


図-6 クリープ係数の経時変化

コンパレーターまたはコンタクトゲージを使用した。

図-5 に乾燥収縮ひずみの経時変化を、また表-3 にコンクリートの材料試験結果を示す。これより、収縮低減剤無混入に対する材令 100 日での乾燥収縮ひずみの低減効果は、混入率 2% で約 75%、同 4% で約 50%、6% で約 40% であった。一方、水セメント比一定のもとで収縮低減剤の添加量を増加した場合には、強度や弾性係数への影響はないが、スランプが次第に減少しワーカビリティが劣化してくるという問題もある。

次に、クリープ係数の経時変化を図-6 に示す。低減効率は時間の経過とともに増大し、載荷材令 10 日で約 75%、60 日で約 60%、200 日で約 50% であった。

以上のことから、本実験では、収縮低減剤の最適混入率はセメント重量比の 4% であると考えられる。

3.2 合成梁のクリープ・乾燥収縮解析法

合成梁のクリープ・乾燥収縮解析を行うにあたり、広

◇論文報告◇

力変動下におけるコンクリートの応力-ひずみ関係を定式化する必要があるが、この分野に関してはこれまで各種の推定式が提案されている¹²⁾。その代表的なものとして、Troost は変動応力下におけるひずみ $\varepsilon_b(t)$ を、リラクゼーション係数 ρ を導入した次式の簡単な代数方程式で表すことを提案した¹³⁾。

$$\varepsilon_b(t) = \frac{\sigma_{b0}}{E_b} \{1 + \phi(t)\} + \frac{\dot{\sigma}_{k+s}(t)}{E_b} \{1 + \rho\phi(t)\} + \dot{\varepsilon}_s(t) \dots\dots(10)$$

ここで、

- $\varepsilon_b(t)$: 時刻 t におけるひずみ
- σ_{b0} : 時刻 $t=t_0$ (載荷時) における応力
- $\dot{\sigma}_{k+s}(t)$: 時刻 t におけるクリープ・乾燥収縮による応力の変化量
- $\phi(t)$: 時刻 t におけるクリープ係数
- $\dot{\varepsilon}_s(t)$: 時刻 t における乾燥収縮ひずみ量

この方法では、他の方法において行う繰返し計算の必要がないため、構造物のクリープ・乾燥収縮解析を行う場合、演算がきわめて容易となる。さらに、クリープ係数も遅れ弾性成分とフロー成分を一体として扱えるため、クリープ試験から得られたデータをそのまま利用できるなどの利点を有する。その一方で、コンクリートの材令と載荷時材令の関数として表されるリラクゼーション係数 ρ の算定があらかじめ行われていなければならない。これについては、D. Schade が計算手法を確立している¹⁴⁾。

そこで、ここでは鋼・コンクリート合成構造に対してその適用性が実証され、かつ取扱いが容易な Troost 方式と構造解析の手法として現行の道路橋示方書に採用されている総断面法を用いて、本合成梁供試体のクリープ挙動を追跡する。

3.3 導入プレストレスの経時変化

2. においてプレストレスを導入した合成梁供試体をそのまま比較的湿度、湿度の変動の少ない地下室に移し、コンクリートおよび鋼板のひずみの経時変化を測定した。

図-7 に、TSC、スタッド各合成梁の中央断面におけるコンクリートひずみの経時変化を示す。図中、番号1、2はそれぞれコンクリート側面の高さ方向に下縁より1/4、1/2の位置におけるデータを表している。一般に、コンクリートの収縮ひずみは周辺環境の湿度の影響を大きく受けるが、本実験においても測定室の湿度が60~90%の範囲で変動しており、そのクリープ挙動を一定湿度60%のときの乾燥収縮ひずみとクリープ係数を用いた解析で追跡することは不適当と考えられる。そこで、この湿度上昇に伴う乾燥収縮ひずみとクリープ係数

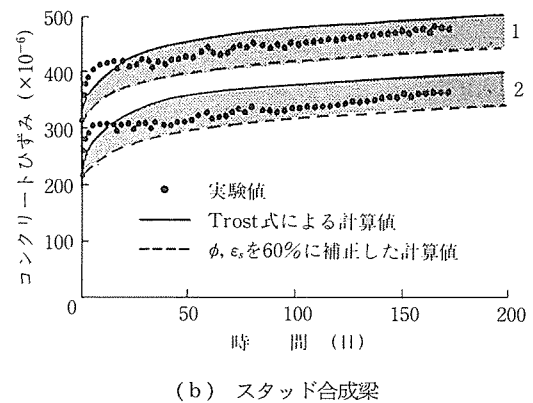
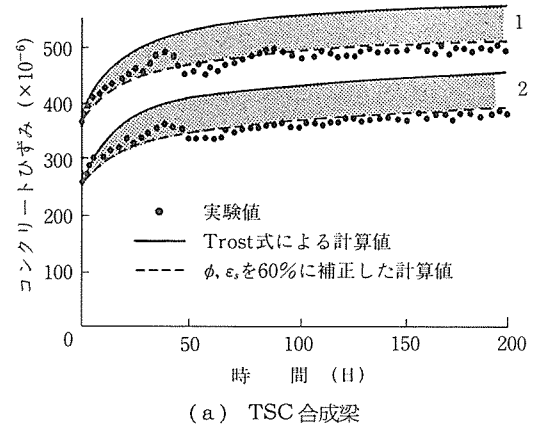


図-7 コンクリートひずみの経時変化

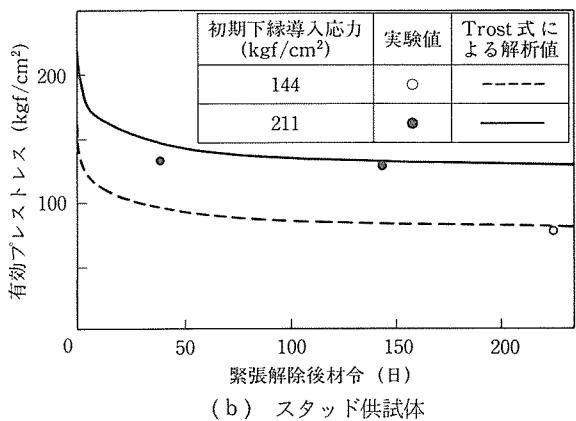
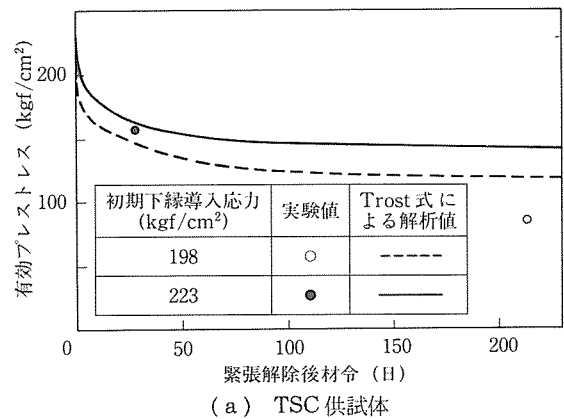


図-8 有効プレストレスの経時変化

の値をそれぞれ60%まで補正して考えるものとし、解析値に図中射影で示すような変動幅を与えることとした。これより、前述の Trost 式による解析値は実験値の傾向をよくとらえていることがわかる。

図-8に、各合成梁中央断面下縁のコンクリートに導入された有効プレストレスの経時変化について、実験値と Trost 式による解析値の比較を示す。ここで、実験値は、後述の静的曲げ試験より得られたひびわれ発生時のコンクリート応力度から、荷重試験時材令におけるコンクリートの引張強度を差し引いた値である。これより、両タイプの合成梁の有効プレストレスは、プレストレス導入後20日で導入直後の約75%、同200日で約60%と推定され、また一部を除いて解析値と実験値はよく一致していることがわかる。

以上の結果をまとめれば、本構造において最終的に100 kgf/cm²程度の有効プレストレスの確保が可能であること、また、そのクリープ挙動の推定には Trost 式の適用が有用であることが判明した。

4. プレストレスト合成梁の曲げ性状

4.1 実験概要

プレストレス導入後約7か月を経過した TSC, スタッドの各合成梁に対して、スパン2.0 mの単純支持、荷重幅40 cmの2点集中荷重による静的曲げ破壊試験を実施した。したがって、供試体の断面諸元は図-2に示すとおりであり、荷重試験時における梁中央断面下縁の有効プレストレスの推定値はおおよそ80 kgf/cm²である(図-8の○印の供試体に相当する)。また、プレレスト合成梁との比較用に、各タイプについて同一の断面諸元および使用材料を有するプレストレスの導入されていない合成梁についても同様の荷重試験を実施した。以後、記号 PC および RC は、それぞれプレストレス導入の有無を表す。

4.2 結果と考察

図-9に TSC 合成梁のひびわれ状況について、PC および RC 供試体の比較を示す。図より、荷重6 tf 荷重時には RC 供試体では梁のほぼ全域にひびわれが分布しているのに対し、PC 供試体ではわずかに肉眼で初期ひびわれを観察する程度である。最終的には、両者ともに底鋼板の降伏に伴う曲げ引張破壊を生じている。これらの傾向はスタッド合成梁についても同様にみられた。

両タイプの合成梁について、ひびわれおよび終局耐力の比較を表-4に示す。ここで、計算値は道路橋示方書⁷⁾ならびにコンクリート標準示方書¹⁰⁾に規定される抵抗モーメントの計算結果である。これより、各タイプともにプレストレス導入により終局耐力に変化はないものの、ひびわれ耐力において3倍以上の増加が認められ

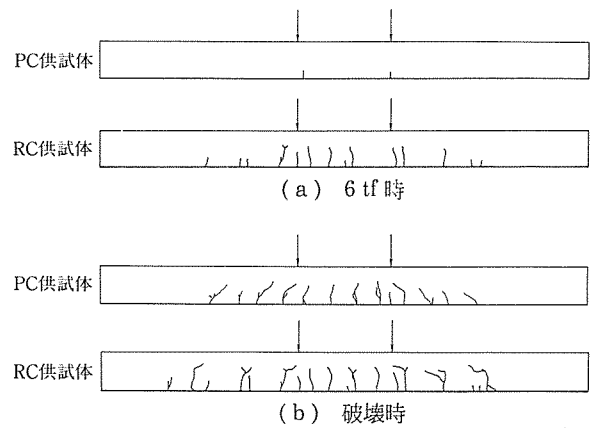
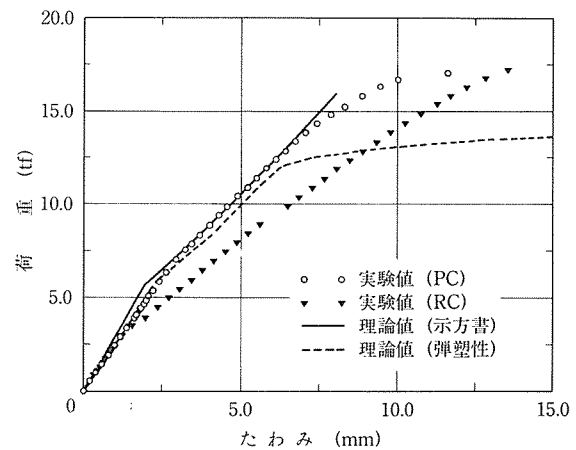


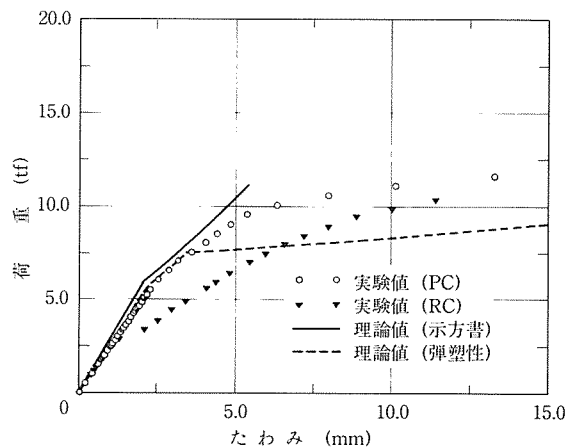
図-9 TSC 合成梁のひびわれ図

表-4 ひびわれおよび終局耐力

| 供試体の種類 | ひびわれモーメント (tf・m) | | | 破壊モーメント (tf・m) | | |
|-----------|------------------|---------------------|------------------------------------|----------------|------------------|------------------------------|
| | 実験値 | 計算値 | $\frac{M_{cr}}{M_{cr}}$ | 実験値 | 計算値 | $\frac{M_u}{M_u}$ |
| | M_{cr} | \overline{M}_{cr} | $\frac{M_{cr}}{\overline{M}_{cr}}$ | M_u | \overline{M}_u | $\frac{M_u}{\overline{M}_u}$ |
| TSC (PC) | 2.00 | 2.66 | 0.75 | 7.16 | 6.17 | 1.16 |
| TSC (RC) | 0.56 | 0.67 | 0.83 | 7.20 | 6.22 | 1.16 |
| スタッド (PC) | 2.08 | 2.13 | 0.97 | 4.93 | 4.21 | 1.17 |
| スタッド (RC) | 0.56 | 0.831 | 0.67 | 5.00 | 4.22 | 1.18 |



(a) TSC 合成梁



(b) スタッド合成梁

図-10 荷重-たわみ曲線

◇論文報告◇

た。

次に、TSC、スタッドの両合成梁について、スパン中央点のたわみと荷重の関係を図-10に示す。図中、○および▼はそれぞれPC、RCの実験値を、また、実線は前述の耐力と同様、両方書に規定される有効断面2次モーメントを用いた計算値、さらに破線は断面分割法¹⁵⁾に基づく弾塑性解析値を示している。

以上の結果より、本合成梁においても、ひびわれ抵抗の増大および曲げ剛性の低下の抑制などのプレストレス効果が明らかに認められ、その耐力、変形挙動の解明にあたっては、通常のPC梁と同様の取扱いが可能であることが明らかにされた。

5. あとがき

本研究で対象としたPS合成版は、型枠と引張材を兼ねる鋼板に予め低応力レベルの初期引張力を導入しておくプレテンション方式であり、従来の合成版の構造諸元を何ら変更することなくプレストレス化することが可能であること、圧縮強度が1200 kgf/cm²級の高強度PS合成版も製作可能なこと、また、この構造はプレキャスト材として工場製作されるため、部材の組立、接合が必要となるが、通常の溶接構造用鋼材を使用していることにより、溶接接合やボルト接合などの接合手法を用いることができること、など極めてユニークな特色を有し、大深度構造物や、水密性が要求される各種海洋構造物など新分野への適用の道が拓かれていると言える。

それらの実用化に当たっては、製作段階でのプレストレス導入に対する材料および技術的問題、プレキャスト部材の接合法、製作コストの増加、など今後検討を要する問題も残されている。しかしながら、今後ますます深刻化するであろう熟練作業員の質的、量的不足による現場作業レベルでの省力化および簡素化、さらには高強度で耐久性が高く高品質の構造材料の開発などの社会的ニーズの大きさを考えれば、提案PS合成版の有用性は十分高いものと思われる。

本稿は、鋼板・コンクリート合成版構造のプレストレス化に対する試みの第一歩として、合成梁を対象とした1軸プレストレスについての研究成果をまとめたものである。目下、プレストレスに関してより有効なジベル方式の開発や、2軸プレストレスによるポアソン効果の効用等について研究を鋭意進めている。

なお、本研究は九州大学と民間会社との共同研究(A)として実施したものである。本研究に参加、協力して頂いたオリエンタル建設、住友建設、東京鉄骨橋梁製作所、ピー・エス、富士ピー・エス、横河工事、および材料の提供を賜った藤沢薬品工業の各社に対し、深甚なる謝意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) Robinson, J.R. : Systeme nouveau de couverture de ponts-route metalliques par tole cintree et beton arme associes, Prelim. Rept., 4th Congress IABSE, 1972.
- 2) たとえば、太田俊昭, 日野伸一, 他: トラス型ジベルを有する鋼板-コンクリート合成桁の力学特性, 合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1986.9.
- 3) 土木学会: PC合成床版工法設計施工指針(案), コンクリートライブラリー, 第62号, 1987.3.
- 4) 太田俊昭, 日野伸一, 他: 鋼・コンクリート合成版構造のプレストレス化に関する基礎的研究(その1: 合成はりの導入プレストレスと曲げ性状), 土木構造・材料論文集, 第6号, 1991.1.
- 5) 太田俊昭, 日野伸一, 他: 鋼・コンクリート合成版構造のプレストレス化に関する基礎的研究(その2: クリープ・乾燥収縮による合成はりの導入プレストレスの損失), 九大工学集報, 第63巻, 第6号, 1990.12.
- 6) 太田俊昭, 日野伸一, 他: トラス型ジベルの押抜きせん断挙動, 合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1986.9.
- 7) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 1990.2.
- 8) Johnson, R.P. : Composite Structures of Steel and Concrete, GRANADA, 1975.
- 9) 佐々木孝, 小松定夫: 不完全合成桁橋の合理的設計, 橋梁と基礎, 1986.5.
- 10) 土木学会: コンクリート標準示方書(設計編), 1986.
- 11) 富田六郎: 収縮低減剤, コンクリート工学, Vol. 26, No. 3, 1988.
- 12) 中井博, 栗田章光: 鋼・コンクリート合成構造のクリープ・乾燥収縮解析における種々の基礎式に関する一考察, 構造工学論文集, 土木学会, 1990.3.
- 13) Trost, H : Zur Berechnung von Stahlverbundträgern im Gebrauchszustand auf Grund neuerer Erkenntnisse des viskoelastischen Verhaltens des Betons, Der Stahlbau 37, H. 11, 1968.
- 14) Schade, D : Alterungsbeiwerte für das kriechen von Beton nach den Spannbetonrichtlinien, Beton und Stahlbetonbau, H. 5, 1977.
- 15) 太田俊昭, 中沢隆雄: はり理論による鉄筋およびプレストレスコンクリートはりの弾塑性解析, 土木学会論文報告集, 第276号, 1978.8.

【1991年6月27日受付】