

## 論文

[1102] しらすを細骨材として用いたコンクリートの  
実用性に関する検討

正会員○川俣孝治（住友セメント(株)）

正会員 武若耕司（鹿児島大学工学部）

正会員 松本 進（ 同 上 ）

## 1. まえがき

著者らはこれまでに、南九州に大量に存在するしらすをコンクリート用細骨材として有効に利用するため、これを用いたコンクリート（以下、しらすコンクリートと称する）の性質に関する基礎的な検討を行ってきた<sup>1)</sup>。その結果、地山から採取したしらすをほぼそのままの状態で用いた場合でも、配合条件を工夫することによって十分な作業性を有するコンクリートが作製できることを明らかにし、また、このための配合設計資料を得ることができた。さらに、この配合設計資料に基づき打設したしらすコンクリートの圧縮、引張あるいは曲げ強度特性について検討した結果、材令3ヶ月までの範囲においては、水セメント比を5～10%小さくしてやることによって、通常のコンクリートとほぼ同程度の強度特性が得られることが確認された。

本研究では、前報に引き続き材令一年までのしらすコンクリートの諸強度特性について検討を行うとともに、乾燥収縮あるいはクリープ特性といったコンクリートの変形性状ならびに種々の環境下における耐久性等について若干の検討を行った。また、しらすコンクリートのRC部材への適用可能性について検討を行うためにRC矩形梁の静的載荷試験を実施したが、その結果についてもあわせて報告する。

## 2. 実験の概要

今回しらすコンクリートについて検討を行った主な項目は、表-1の通りである。検討に使用したしらすは、鹿児島市内の地山しらすであり、最大粒径5mmとなるようにふるい分けを行って細骨材として使用した。なお、今回の検討では、比較のために熊本県緑川産の川砂も使用した。表-2に、しらすの主な物理試験結果を川砂と比較して示す。

コンクリートは、セメントとして普通ポルトランドセメント、粗骨材として最大粒径20mmの碎石を用い、圧縮、引張および曲げ強度特性ならびに耐久性についての検討では目標スランブ値を $10 \pm 1$ cm、その他の試験では目標スランブ値を $8 \pm 1$ cmとして配合を定めた。なお、しらすコンクリートの配合は、表-3に示す配合設計資料に基づき決定した。

表-1 主な検討項目

| 検討項目       | 試験項目           |
|------------|----------------|
| 強度特性       | 圧縮 引張 曲げ 付着    |
| 変形性状       | 弾性係数 クリープ 乾燥収縮 |
| 耐久性        | 海水浸漬 硫酸塩浸漬 中性化 |
| RC部材の力学的特性 | 静的曲げ載荷試験       |

表-2 しらすおよび川砂の物理試験結果

| 細骨材の種類 | 比重   | 吸水率<br>表乾 (%) | 粗粒率<br>(%) | 実績率<br>(%) | 洗い値<br>(%) | 単位体積重量<br>(kgf/m <sup>3</sup> ) | 破砕値<br>(%) |
|--------|------|---------------|------------|------------|------------|---------------------------------|------------|
| しらす    | 2.07 | 11.10         | 1.78       | 59.1       | 15.0       | 1101                            | 29.8       |
| 川 砂    | 2.61 | 2.95          | 3.28       | 64.7       | 1.6        | 1647                            | 2.5        |

表-3 しらすコンクリートの配合設計資料

| G <sub>max</sub> (mm) | W/C(%) | S/a(%) | 単位水量 | スランブ値 |
|-----------------------|--------|--------|------|-------|
| 20                    | 50     | 31     | 214  | 8     |

上記と条件が異なる場合の補正

| 区 分                      | S/aの補正      | 単位水量の補正      |
|--------------------------|-------------|--------------|
| スランブ値1cmの増減に対し           | 補正しない       | $\pm 1.75\%$ |
| 水セメント比5%の増減に対し           | $\pm 1\%$   | $\mp 1.5\%$  |
| 粗粒率0.1%の増減に対し            | $\pm 0.6\%$ | $\mp 0.6\%$  |
| 空気量1%の増減に対し              | $\mp 1\%$   | $\mp 2\%$    |
| G <sub>max</sub> 13mmに対し | +4%         | +8%          |

<注> ただし、粗骨材として碎石、細骨材としてFM1.58の地山しらすを使用した場合である。

### 3. 材令1年までの諸強度特性について

図-1、2は、水中養生を行ったしらすおよび川砂コンクリートの材令1年における圧縮強度ならびに、材令の経過に伴う強度増加の割合を示したものである。これらの結果、材令1年のしらすコンクリートの圧縮強度は、同一水セメント比の川砂コンクリートに比べて約15%程度小さな値を示すものの、材令に伴う強度増加率について両者を比較すると、しらす使用の場合がこの増加率は幾分大きくなる傾向も認められた。また、今回の結果から、しらすコンクリートにおいても圧縮強度600 kgf/cm<sup>2</sup>程度のコンクリートを作製することは十分に可能であることも確認された。

図-3は、コンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係について、材令1年までの結果をまとめて示したものである。この結果は、しらすコンクリートにおいても圧縮強度の増加に伴う静弾性係数の直線的な増加傾向が認められること、同一の圧縮強度における静弾性係数が川砂コンクリートに比べ約1割程度小さな値となることなど、昨年、材令3ヶ月までのものについて調査した結果と一致するものであった。

また、図-4および図-5には引張強度および曲げ強度についてとりまとめた結果の一例を示したが、この結果においても材令3ヶ月までの結果と同様に、しらす、川砂いずれの骨材を用いたコンクリートにおいても、同一の圧縮強度における引張強度あるいは曲げ強度は、ほぼ同じ値となることを確認できる。

### 4. 乾燥収縮およびクリープ特性

図-6は、目標スランプ値を8cmとして打設したコンクリートの材令と乾燥収縮率の関係について示したものである。また、図-7は、しらすコンクリートと川砂コンクリートで1)すべての配合条件を同一とした場合、2)水セメント比、単位水量を同一として細骨材率をそれぞれのコンクリートの最適細骨材率とした場合について乾燥収縮特性を比較検討したものである。これらの結果によると、しらすコンクリートの乾燥収縮率は全般的に川砂を用いた場合よりも大きく、また、同一のスランプ値の川砂コンクリートの場合には、水セメント比の相違による収縮量の大きな変化が見られないのに対して、しらすコンクリートでは、水セメン

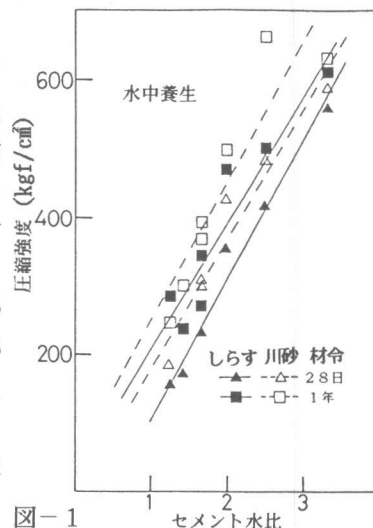


図-1 セメント水比と圧縮強度の関係

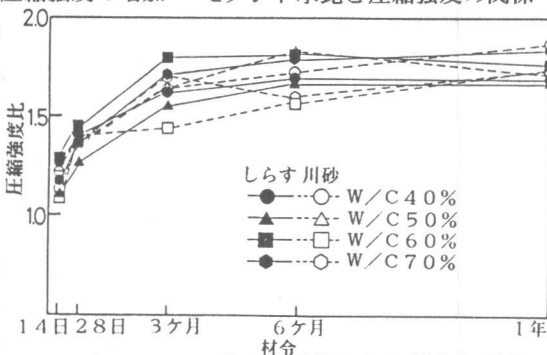


図-2 7日強度を基準とした材令に伴う圧縮強度の増加割合

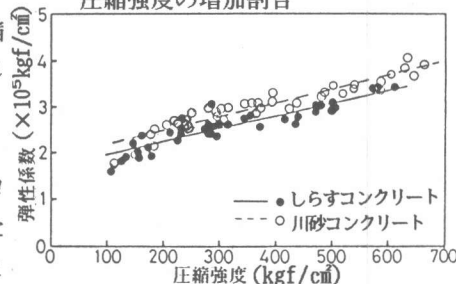


図-3 弾性係数と圧縮強度の関係

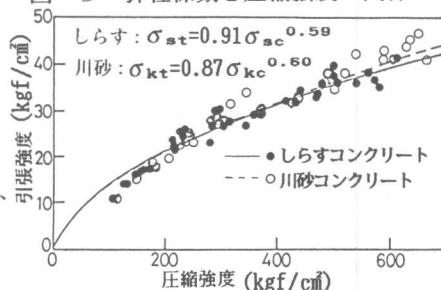


図-4 引張強度と圧縮強度の関係

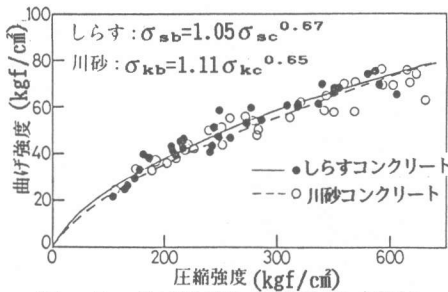


図-5 曲げ強度と圧縮強度の関係

ト比の減少に伴い収縮量の増加する傾向が認められた。これは、しらすコンクリートの場合、単位水量一定の法則が成立せず、スランプ値を一定とするためには水セメント比の減少にともなって単位水量を増加させる必要があることによるものと思われる。またこのことは、図-7に示すように、しらすおよび川砂コンクリートの単位水量を同一とした場合に両者の乾燥収縮率がほぼ同じとなることから確認できる。従ってこれらの結果から、しらすコンクリートの乾燥収縮量は、減水剤等の使用による単位水量の低減によって十分に抑制可能となるものと思われる。

図-8は、目標圧縮強度300kgf/cm<sup>2</sup>、目標スランプ値8cmとして打設したしらすおよび川砂コンクリートのクリープ歪と荷重材令の関係について示したものである。この結果から、しらすコンクリートのクリープ歪は、同一荷重応力を受ける川砂コンクリートの値に比べ3割程度減少する傾向にあり、またクリープ係数についても大幅に小さくなることが明らかとなった。なお、しらすコンクリートのクリープ係数は、軽量骨材コンクリートと同程度の値を示していた。

#### 5. 耐久性に関する検討

図-9は、硫酸ナトリウム10%水溶液に材令28日目から全浸漬させたコンクリートの動弾性係数と浸漬材令の関係について示したものである。この結果から、水セメント比が50%以上の川砂コンクリートにおいては、浸漬期間の途中から材令の経過とともに動弾性係数が明らかに低下する傾向が認められ、

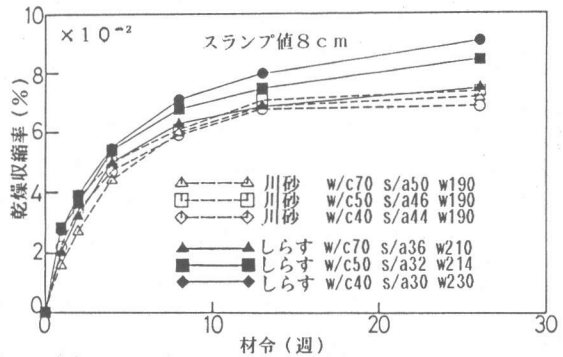


図-6 スランプ値を一定とした場合の乾燥材令と乾燥収縮率の関係

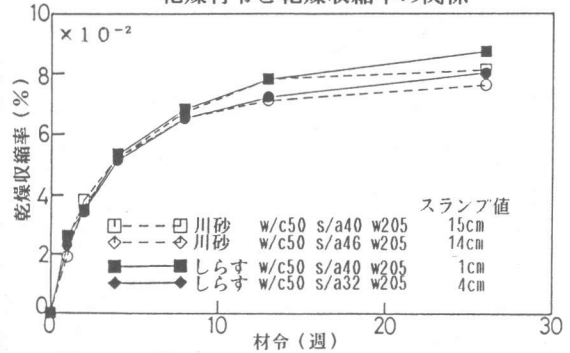


図-7 配合条件を一定とした場合の乾燥材令と乾燥収縮率の関係

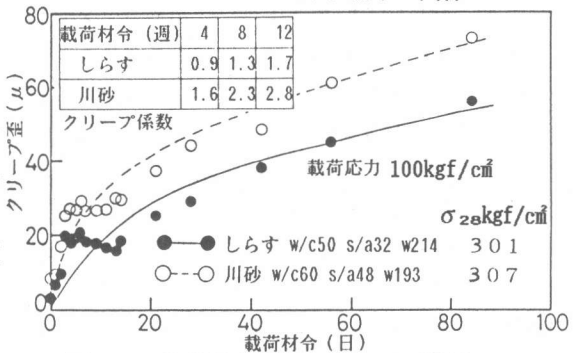


図-8 荷重材令とクリープ歪の関係

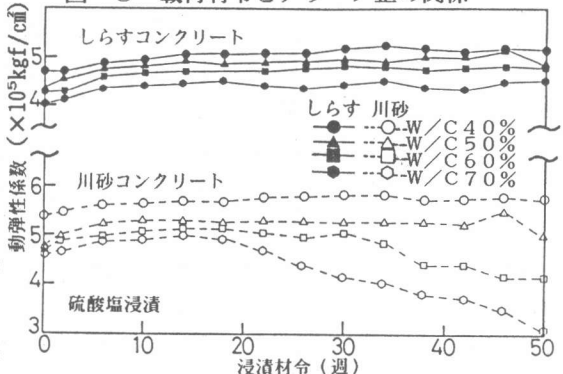


図-9 硫酸塩浸漬材令と動弾性係数の関係

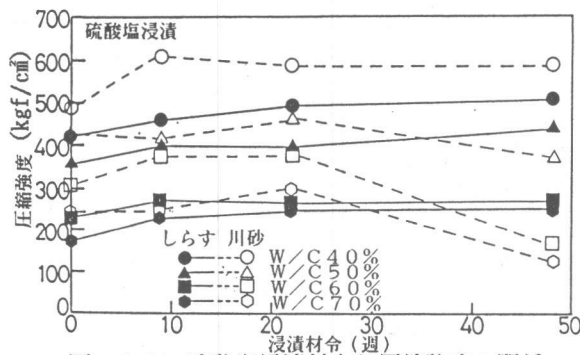


図-10 硫酸塩浸漬材令と圧縮強度の関係

特にこの傾向は、水セメント比が大きくなるに従い早くから、しかも大きく表れるようであった。一方、しらすコンクリートにおいては上記の傾向はまったく認められず、動弾性係数はいずれの水セメント比においても材令の経過とともに加えてわずかながら増加する傾向も見受けられた。

この結果は、図-10に示すように圧縮強度の測定結果にも明確に表れており、いずれの水セメント比においても浸漬材令6ヶ月までは川砂コンクリートの強度がしらすコンクリートを上回っているが、浸漬材令1年では水セメント比50%以上の場合に両者の関係が逆転する傾向にあった。

また、写真-1に示すように、川砂コンクリートは供試体下部の端面に亀甲状のクラックが多数発生してかなりの劣化が生じているのに対し、しらすコンクリートには劣化の形跡は全く観察されなかった。

以上の結果は、しらすコンクリートが、水セメント比のかなり高い場合においても極めてすぐれた耐硫酸塩性を示すことを如実に示している。これは、しらす中に多量に含まれるガラス質の  $\text{SiO}_2$  がコンクリート中でポゾラン物質に類似の特性を示すことによって生じるものと予想されるが、その詳細は今後の検討課題でもある。

図-11は、海水浸漬させたしらすコンクリートの材令1年での圧縮強度を水中養生した場合と比較したものであるが、いずれの養生条件においても圧縮強度に差異は見られずしらすを使用したことによる耐海水性状の特別な問題点は認められない。

図-12は、屋外暴露供試体における中性化深さと圧縮強度の関係について示したものであるが、この結果によると、同一圧縮強度の場合には、しらすコンクリートの平均中性



写真-1

硫酸塩によるコンクリートの劣化状況

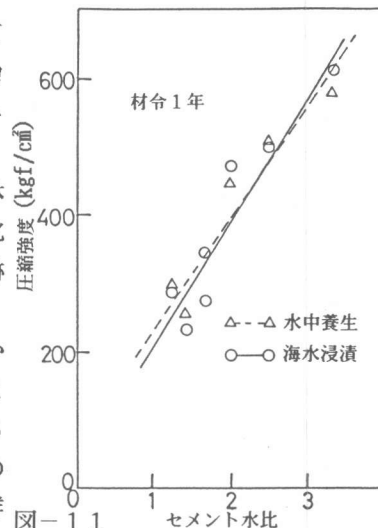


図-11 海水浸漬させたコンクリートのセメント水比と圧縮強度の関係

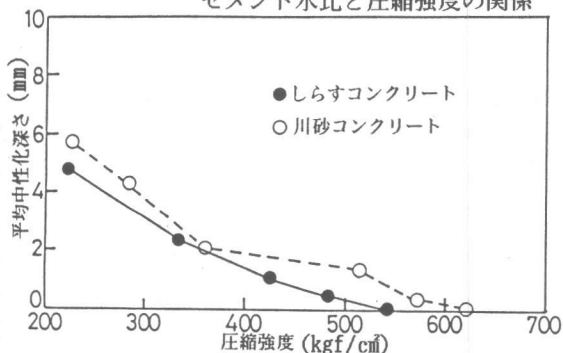


図-12 平均中性化深さと圧縮強度の関係

化深さは川砂  
コンクリート  
に比べ小さな  
値となり、し  
らすコンクリ  
ートの中酸化  
の進行速度は  
通常のコンク  
リートより遅  
くなるようで  
あった。

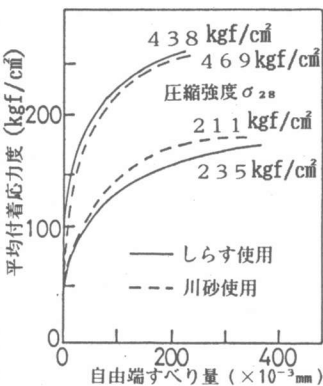


図-13 自由端すべり量と平均付着応力度の関係

#### 6. RC梁の曲げ性状に関する検討

ここでは、しらすコンクリートのRC部材への適用に関して若干の検討を行った結果について示す。検討にあたっては、まず鉄筋の引き抜き試験を実施してしらすコンクリートにおける鉄筋付着性状を検討し、さらに、図-15に示すRC矩形梁を作製してその静的曲げ荷試験を行い、ひびわれ性状、たわみ性状ならびに破壊性状等について検討を行った。

図-13には、引き抜き試験の結果得られた鉄筋の付着応力度～すべり量曲線の一例を示した。また、図-14は圧縮強度と初期付着応力度および最大付着応力度の関係について示したものである。これらの結果から、同一の圧縮強度のコンクリートについて比較した場合には、最大付着応力度においては、圧縮強度の小さい範囲でしらすコンクリートが川砂コンクリートよりも2割程度低い値を示しているが、この低下割合は圧縮強度の増加に伴って減少する傾向にあった。また、初期付着応力度においては、両者はほぼ同程度か、かえってしらすコンクリートのほうが大きな値を示す傾向もみられ、付着性状全般を見ても、しらすコンクリートは通常のコンクリートと何等遜色のない特性を有しているものと思われる。

図-16および図-17は、RC梁の静的荷試験によって得られた梁のひびわれ発生状況および、スパン中央のたわみ量についてそれぞれ一例を示したものである。これらの結果から、しらすコンクリートを使用したRC梁のひびわれ性状およびたわみ性状はいずれも川砂使用の場合と大差がなく、使用細骨材の相違

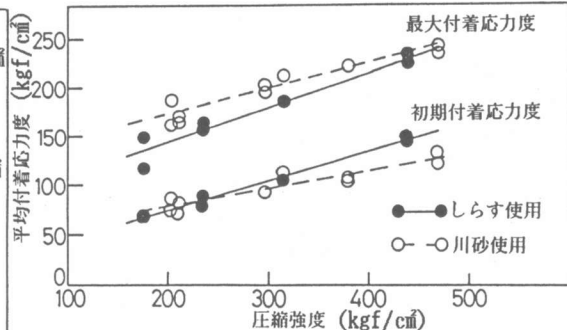


図-14 平均付着応力度と圧縮強度の関係

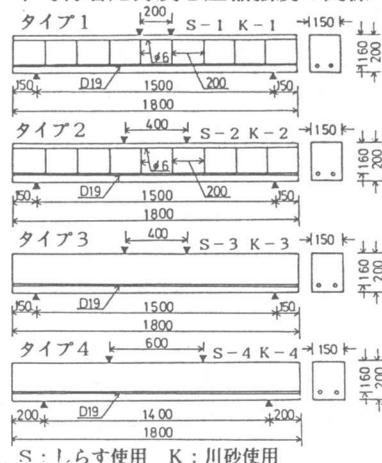


図-15 RC梁の形状寸法および荷方法

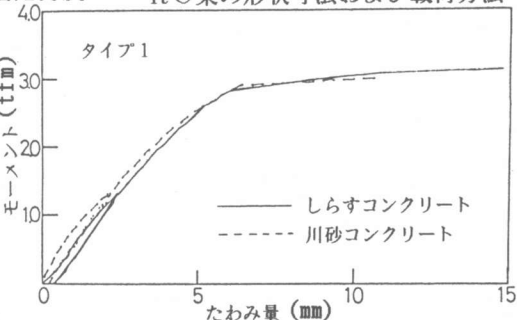


図-16 スパン中央におけるたわみ量とモーメントの関係

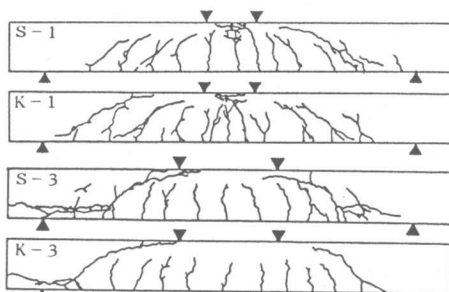


図-17 ひびわれ発生状況

による影響は認められなかった。

一方、表-4は、破壊形式および破壊耐力について示したものである。この結果から、まず破壊形式について見てみると、曲げ引張破壊となったタイプ1の場合を除きその他のタイプはいずれも使用細骨材の違いによって破壊形式に相違が生じ、特にタイプ2は同程度のせん断補強を行っているにもかかわらず、しらすコンクリートの場合が曲げ引張破壊、

川砂使用の場合はせん断破壊となった。また、破壊耐力についてみても、いずれのタイプもしらすコンクリートを用いたRC梁の破壊耐力が川砂使用の場合に比べ増加する傾向にあり、この傾向はせん断破壊を起こしたRC梁でより顕著となることが確認された。

図-18にはスターラップの実測歪を示したが、この結果から、コンクリートの分担せん断力は、圧縮強度がほぼ同一であるにもかかわらず、しらす使用の場合が川砂使用の場合に比べ1割程度大きくなる様子を確認できる。

## 7. 結論

南九州に広範囲に分布し、未だ十分な活用に至っていないしらすをコンクリート用材料、特に細骨材として有効に利用するため、これを用いたコンクリートの諸特性について検討を行った。その結果、次のような結論を得た。

- 1) 材令に伴うしらすコンクリートの強度増加の傾向は、通常のコンクリートと大差がない。また、しらすを細骨材として使用しても、圧縮強度600kgf/cm<sup>2</sup>程度のコンクリートは十分に作製可能である。
- 2) 圧縮強度が同一であっても弾性係数はしらす使用によりいくぶん低下するが、クリープ変形量はかえって小さくなる。また、しらすコンクリートの乾燥収縮率は通常のものより大きい。これは減水剤などの使用による単位水量の低減によって十分に抑制可能である。
- 3) しらすコンクリートの耐硫酸塩性は、通常のコンクリートに比べて格段に優れている。
- 4) しらすコンクリートを用いたRC梁の曲げ性状は、川砂を使用した場合とほとんど差がなく、またせん断耐力は、川砂使用の場合に比べかえって増加する傾向も認められた。

以上の結果から、しらすはコンクリート用細骨材として十分利用可能であることが明らかとなり、このしらすコンクリートが海洋環境あるいは地中の構造物に使用された場合には、通常のコンクリートよりも耐久性に優れたコンクリートとなる可能性が高いものと予想された。

参考文献 1) 武若耕司、松本進、川俣孝治：しらすのコンクリート用細骨材への利用に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文報告集9-1、1987、pp7~12

表-4 破壊形式および破壊耐力

| 供試体<br>No. | a/d  | 圧縮強度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | ひびわれ発生荷重 |        | 破壊荷重<br>P <sub>u</sub> (tf) | P <sub>u</sub> /P <sub>cal</sub> | 破壊形式  |
|------------|------|--------------------------------|----------|--------|-----------------------------|----------------------------------|-------|
|            |      |                                | 曲げ(tf)   | 斜め(tf) |                             |                                  |       |
| S-1        | 4.06 | 308                            | 1.3      | 8.0    | 9.85                        | 1.35                             | 曲げ引張  |
| K-1        | 4.06 | 293                            | 1.8      | 8.0    | 9.35                        | 1.29                             | 曲げ引張  |
| S-2        | 3.44 | 344                            | 1.5      | 9.0    | 11.43                       | 1.30                             | 曲げ引張  |
| K-2        | 3.44 | 324                            | 2.0      | 8.0    | 9.92                        | 1.14                             | せん断破壊 |
| S-3        | 3.44 | 310                            | 1.3      | 8.0    | 10.00                       | 1.16                             | せん断圧縮 |
| K-3        | 3.44 | 298                            | 2.0      | 7.0    | 7.53                        | 0.88                             | 斜め引張  |
| S-4        | 2.50 | 315                            | 1.5      | 9.0    | 15.00                       | 1.26                             | 定着    |
| K-4        | 2.50 | 307                            | 1.8      | 9.0    | 11.40                       | 0.96                             | 定着    |

S：しらす使用

K：川砂使用

P<sub>cal</sub>：曲げ破壊耐力の計算値

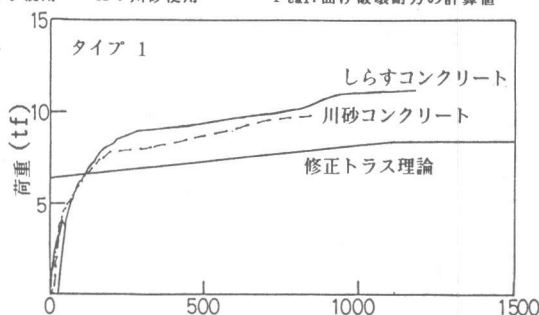


図-18 スターラップの実測歪と荷重との関係