

# V-17 樹脂含浸・鋼繊維補強コンクリートについて

室蘭工業大学 正員 尾崎 詔  
室蘭工業大学 正員 ○ 志村 政雄  
室蘭工業大学 浅田 泰敬

## 1. 緒論

セメントコンクリートはそれ自体複合材料ではあるが、近年、更に他の材料との複合化が試みられ、多くの繊維補強系や樹脂分散系のコンクリート複合体が出現した。この中でも、土木材料として強度や靱性などの力学的性質を重視する場合、代表的なものとして、樹脂含浸コンクリートと鋼繊維補強コンクリートを挙げることができる。

樹脂含浸コンクリートは、硬化したセメントコンクリートにモノマーを浸透させ、コンクリートの空隙内で重合反応を起させて樹脂をポリマー化させることによって得られる複合材料であり、過去に発表した著者らの研究<sup>1)</sup>でも、圧縮・引張ともに普通のコンクリートの3倍程度の強度が得られることが知られている。

一方、鋼繊維コンクリートは、太さ0.3~0.5mm、長さ30mm前後の鋼繊維を、コンクリートを練り混ぜる際にコンクリート容積の1~1.5%程度分散混合して、硬化したコンクリートのひびわれを拘束し、脆性を改善する複合材料であるが、大きな変形能力を示して靱性を大幅に増大する割には強度の増加が少ない。<sup>2) 3)</sup>

本題の研究はこの両者を結びつけたものであって、靱性は大きいが施工性からくるアスペクト比の限界があるために通常の付着性能では大幅な強度の増加は望めない鋼繊維コンクリートと、強度は大きい靱性に乏しい樹脂含浸コンクリートが両者の複合によって相おぎない、曲げ強度も靱性も飛躍的に改善されることを期待するものである。このような研究は、すでに国内でも大岸氏らによってモルタルを基材とした研究がなされ、解説<sup>4)</sup>もなされているが、著者らは舗装版などを想定したコンクリートを基材とした研究をおこなってきたので、ここでは曲げに関する実験結果を中心に報告する。

## 2. 実験材料

コンクリートに使用した材料は、セメントが比重3.15の普通ポルトランドセメント、細骨材が比重2.72、吸水率0.79%、粗粒率2.94の幌別産海砂、粗骨材が比重2.64、吸水率2.07%、最大寸法25mmの白老産碎石、それに混和剤としてAE剤(ピンゾール)を使用した。

鋼繊維は、鋼板せん断繊維 S (新日鉄0.35×0.7×30mm、アスペクト比 $l/d=29.8/0.5=59.6$ 、引張強度43N/mm<sup>2</sup>)と異形鋼繊維 D (神戸製鋼0.5φ×30mm、アスペクト比 $l/d=60$ 、引張強度1370N/mm<sup>2</sup>)の2種を使用した。

含浸に用いた樹脂はメタクリル酸メチルで、モノマー時における比重は0.94、粘度は0.57cPで、ポリマー化した後の比重は1.18、引張強度は約500kg/cm<sup>2</sup>、伸び率は10%程度と推測した。

なお、重合開始剤として、アゾビスイソプロチロニルを0.05%添加した。

## 3. コンクリートの配合

コンクリート及び鋼繊維補強コンクリートの配合は、一般に使用される水セメント比w/c3種を採用し、鋼繊維は上記SとDの2種を用いて鋼繊維混入率SFをコンクリート容積の0, 1, 1.5%の3

表-1 実験に用いた配合

| 繊維            | SF (%) | w/c (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |      |      |     |  |
|---------------|--------|---------|---------|--------------------------|-----|-----|------|------|-----|--|
|               |        |         |         | W                        | C   | S   | G    | A(g) | SF  |  |
| 鋼板<br>剪断<br>S | 0      | 45      | 41      | 135                      | 300 | 807 | 1129 | 70   |     |  |
|               |        | 50      | 42      | 136                      | 273 | 830 | 1126 | 62   |     |  |
|               |        | 55      | 42      | 132                      | 240 | 860 | 1137 | 60   |     |  |
|               | 1.0    | 45      | 42      | 165                      | 367 | 766 | 1036 | 74   | 78  |  |
|               |        | 50      | 43      | 165                      | 330 | 798 | 1036 | 77   | 78  |  |
|               |        | 55      | 44      | 160                      | 291 | 845 | 1036 | 75   | 78  |  |
|               | 1.5    | 45      | 47      | 180                      | 400 | 819 | 916  | 73   | 118 |  |
|               |        | 50      | 48      | 177                      | 354 | 866 | 916  | 68   | 118 |  |
|               |        | 55      | 49      | 178                      | 324 | 890 | 916  | 71   | 118 |  |
| 異形<br>鋼線<br>D | 1.0    | 45      | 42      | 162                      | 360 | 781 | 1036 | 74   | 78  |  |
|               |        | 50      | 44      | 157                      | 314 | 833 | 1036 | 77   | 78  |  |
|               |        | 55      | 45      | 151                      | 274 | 884 | 1036 | 75   | 78  |  |
|               | 1.5    | 45      | 47      | 174                      | 387 | 847 | 916  | 75   | 118 |  |
|               |        | 50      | 49      | 171                      | 342 | 900 | 911  | 76   | 118 |  |
|               |        | 55      | 50      | 168                      | 305 | 934 | 916  | 71   | 118 |  |

種とした。鋼繊維補強コンクリートの研究では、基材となるコンクリートの配合を一定とした発表が多いが、本研究では舗装版を念頭においた実際の施工を考慮し、コンシステンシーを沈下度30秒(スランプ2.5cm)、空気量を4.5%に固定して、表-1のような5種の配合をそれぞれ決定した。

4. コンクリート及び鋼繊維補強コンクリート供試体の製作

さきに述べた各配合のコンクリートを、強制練りミキサ(100ℓ)を用い、1/10ℓを1バッチとして練り混ぜたが、鋼繊維補強コンクリートの場合は、ミキサの性能を考慮して、2回に分けて混合した。

各バッチの沈下度は25～32秒、スランプは2～5cm、空気量は4.0～4.8%の範囲内に測定された。

供試体は、曲げ試験と引張試験<sup>3)</sup>のどちらにも使用できるように、10×10×50cmの角柱供試体を採用しており、湿潤状態、乾燥状態、樹脂含浸状態における曲げと引張試験の各々に対し、3本ずつ製作した。締固めは、コンクリートに対しては棒状振動機による内部振動締固めを、鋼繊維補強コンクリートに対しては型枠からの外部振動締固めをおこなった。打込後約6時間で表面仕上げをおこない、湿気養生して翌日脱型し、材令28日まで水中養生を行なった。

5. 供試体の乾燥及び樹脂含浸コンクリートの製作

コンクリート及び鋼繊維補強コンクリート供試体に樹脂を十分含浸させるためには、事前に供試体ができるだけ乾燥しておく必要がある。ACI 548 委員会報告<sup>5)</sup>などでも40℃程度をよしとしている。

本実験でも過去の経験<sup>1)</sup>から40℃で36時間以上循環式乾燥機を用いて供試体を加熱乾燥し、重量がほぼ一定になった後に自然冷却して室温まで温度を下げて、樹脂含浸コンクリート用及び乾燥状態試験用の供試体とした。乾燥率(湿

潤コンクリートの重量に対する蒸発水量の百分率)は表-2に示すように、供試体3本の平均値が4.6～6.1の範囲にわたっている。

樹脂含浸コンクリートの製作には、図-1のようなモノマー含浸装置を用いている。モノマー含浸装置内に乾燥したコンクリート供試体あるいは鋼繊維補強コンクリート供試体を入れ、真空ポンプで30分間30mmHgで脱気した後、モノマーを導入し、直ちにコンプレッサーで15分間4kg/cm<sup>2</sup>の圧力をかけ、脱気と圧入によって強制含浸させる<sup>1)</sup>。このようにしてモノマーを含浸した供試体を装置からとり出し、モノマーが空気中に蒸発するのを防ぐべく直ちにポリエチレン袋に封入し、加熱水槽に入れる。

水槽の温度は20℃/hrの加熱速度で80℃まで上げ、16時間恒温状態に保ち、温水中で熱触媒重合を行ない、翌日徐々に温度を下げて水槽からとり出し、ポリエチレン袋から出して樹脂含浸供試体が得られる。表-2で示すように、供試体の乾燥重量に対するポリマー重量で定義した含浸率は3.3～5.5%の範囲であり、コンクリート空隙に対するポリマーの容積百分率を計算した空隙充填率は55～70%の範囲であった。

表-2 樹脂の含浸状態

| w/c(%)<br>SF(%) | 乾燥率(%) |     |     |     | 含浸率(%) |     |     |    | 充 率(%) |    |  |
|-----------------|--------|-----|-----|-----|--------|-----|-----|----|--------|----|--|
|                 | 45     | 50  | 55  | 45  | 50     | 55  | 45  | 50 | 55     |    |  |
| 0               | 4.7    | 5.0 | 5.0 | 3.3 | 3.9    | 3.7 | 55  | 63 | 60     |    |  |
| 割断              | 1.0    | 5.4 | 5.9 | 5.8 | 3.8    | 5.3 | 5.4 | 57 | 71     | 73 |  |
|                 | 1.5    | 5.7 | 6.0 | 6.1 | 4.2    | 4.4 | 5.5 | 59 | 59     | 72 |  |
| 異形              | 1.0    | 5.4 | 5.5 | 5.5 | 4.1    | 4.7 | 5.1 | 64 | 69     | 73 |  |
|                 | 1.5    | 6.0 | 6.0 | 5.7 | 5.3    | 5.2 | 4.7 | 70 | 70     | 65 |  |

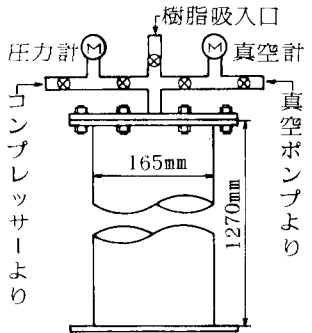


図-1 樹脂含浸装置

6. 曲げ試験の方法と結果

曲げ試験は支間45cmの3等分点载荷とし、電子式200ton耐圧試験機により荷重をかけ、たわみは支間中央に設置した電気抵抗線型のダイヤルゲージにより検出して、荷重-たわみ曲線をX-Yレコー

ダー上に記録した。このようにして測定された3本の供試体の平均曲線を求め、湿潤、乾燥、樹脂含浸の3種の状態を/枚にまとめた例が、図-2(鋼繊維なしのコンクリート)、図-3(鋼板せん断繊維を/ %混ぜた鋼繊維補強コンクリート)図-4(異形鋼繊維を/ .5 %混ぜた鋼繊維補強コンクリート)である。このようにして求めた実験値(平均値)をまとめ、表-3 に曲げ強度を、表-4 に最大荷重時のたわみを示す。また、荷重-たわみ曲線の初期ひびわれ荷重時までの面積、最大曲げ荷重時

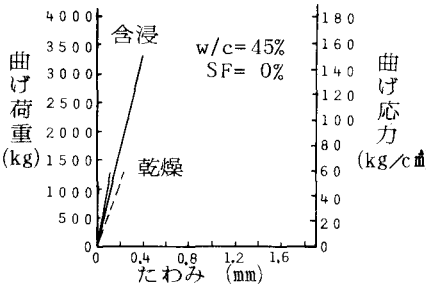


図-2 荷重-たわみ曲線 (鋼繊維なしの場合)

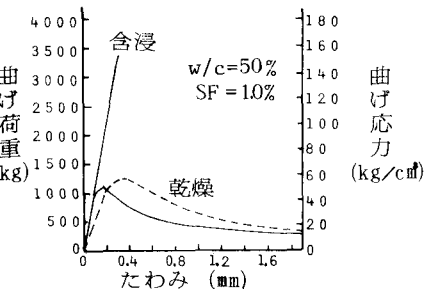


図-3 荷重-たわみ曲線 (鋼板剪断繊維を用いた場合)

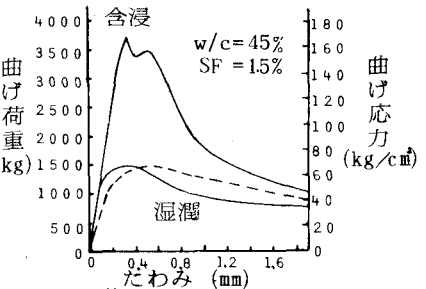


図-4 荷重-たわみ曲線 (异形鋼線繊維を用いた場合)

表-3 曲げ強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

| SF(%) | w/c(%) |      |      | 湿潤状態 |      |      | 乾燥状態 |     |     | 樹脂含浸 |    |    |
|-------|--------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|----|----|
|       | 45     | 50   | 55   | 45   | 50   | 55   | 45   | 50  | 55  | 45   | 50 | 55 |
| 0     | 55.8   | 50.5 | 49.3 | 57.0 | 56.6 | 58.0 | 148  | 147 | 150 |      |    |    |
| 剪断    | 1.0    | 64.5 | 49.6 | 49.9 | 61.9 | 56.1 | 59.5 | 132 | 153 | 161  |    |    |
|       | 1.5    | 70.3 | 69.1 | 51.6 | 78.1 | 80.0 | 48.6 | 146 | 159 | 175  |    |    |
| 異形    | 1.0    | 63.4 | 60.8 | 52.4 | 69.2 | 61.5 | 51.8 | 155 | 149 | 174  |    |    |
|       | 1.5    | 65.3 | 58.1 | 54.9 | 65.5 | 58.3 | 56.7 | 167 | 196 | 158  |    |    |

表-4 最大荷重時たわみ (mm)

| SF(%) | w/c(%) |      |      | 湿潤状態 |      |      | 乾燥状態 |      |      | 樹脂含浸 |    |    |
|-------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|
|       | 45     | 50   | 55   | 45   | 50   | 55   | 45   | 50   | 55   | 45   | 50 | 55 |
| 0     | 0.11   |      | 0.17 | 0.24 | 0.21 | 0.18 | 0.40 | 0.32 | 0.28 |      |    |    |
| 剪断    | 1.0    | 0.35 | 0.18 | 0.22 | 0.26 | 0.39 | 0.48 | 0.32 | 0.32 | 0.26 |    |    |
|       | 1.5    | 0.44 | 0.35 | 0.24 | 0.41 | 0.53 | 0.51 | 0.34 | 0.42 | 0.42 |    |    |
| 異形    | 1.0    | 0.22 | 0.32 | 0.34 | 0.48 | 0.57 | 0.46 | 0.34 | 0.38 | 0.44 |    |    |
|       | 1.5    | 0.37 | 0.28 | 0.30 | 0.56 | 0.67 | 0.64 | 0.36 | 0.64 | 0.36 |    |    |

表-5 曲げ靱性 (kg・mm)

| SF(%)     | w/c(%) |      |      | 湿潤状態 |      |      | 乾燥状態 |      |      | 樹脂含浸 |    |    |
|-----------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|
|           | 45     | 50   | 55   | 45   | 50   | 55   | 45   | 50   | 55   | 45   | 50 | 55 |
| 初期ひびわれ荷重時 |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |
| 剪断        | 1.0    | 71   | 34   | 34   | 57   | 77   | 30   | 255  | 393  | 260  |    |    |
|           | 1.5    | 108  | 81   | 41   | 60   | 101  | 68   | 416  | 482  | 626  |    |    |
| 異形        | 1.0    | 57   | 68   | 60   | 110  | 79   | 55   | 321  | 370  | 740  |    |    |
|           | 1.5    | 43   | 46   | 43   | 85   | 46   | 85   | 402  | 468  | 377  |    |    |
| 最大曲げ荷重時   |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |
|           | 0      | 84   |      | 107  | 174  | 140  | 125  | 655  | 510  | 468  |    |    |
| 剪断        | 1.0    | 371  | 141  | 190  | 268  | 339  | 508  | 528  | 554  | 495  |    |    |
|           | 1.5    | 501  | 381  | 219  | 559  | 726  | 434  | 559  | 734  | 847  |    |    |
| 異形        | 1.0    | 214  | 313  | 295  | 541  | 615  | 413  | 723  | 676  | 866  |    |    |
|           | 1.5    | 435  | 260  | 286  | 613  | 629  | 628  | 743  | 1825 | 709  |    |    |
| 1.9mmたわみ時 |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |
| 剪断        | 1.0    | 1648 | 994  | 1208 | 1518 | 1329 | 1590 | —    | —    | —    |    |    |
|           | 1.5    | 2081 | 1839 | 1479 | 2196 | 2592 | 1363 | —    | —    | —    |    |    |
|           | 1.0    | 1692 | 1771 | 1423 | 1879 | 1957 | 1578 | 2762 | 2890 | 2224 |    |    |
|           | 1.5    | 1890 | 1775 | 1680 | 2191 | 1768 | 1864 | 3762 | 4691 | 3429 |    |    |

表-6 靱性指数

| SF(%) | w/c(%) |      |      | 湿潤状態 |      |      | 乾燥状態 |       |       | 樹脂含浸  |    |    |
|-------|--------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|----|----|
|       | 45     | 50   | 55   | 45   | 50   | 55   | 45   | 50    | 55    | 45    | 50 | 55 |
| 剪断    | 1.0    | 23.4 | 29.7 | 35.2 | 26.6 | 17.3 | 53.2 | (2.1) | (1.4) | (1.9) |    |    |
|       | 1.5    | 19.3 | 22.7 | 35.7 | 36.7 | 25.7 | 20.0 | (1.3) | (1.5) | (1.4) |    |    |
| 異形    | 1.0    | 29.8 | 26.1 | 23.7 | 17.1 | 24.8 | 28.5 | 8.6   | 7.8   | 3.0   |    |    |
|       | 1.5    | 44.4 | 38.2 | 39.0 | 25.7 | 38.9 | 21.9 | 9.4   | 10.0  | 9.1   |    |    |

表-7 動弾性係数 (t/cm<sup>2</sup>)

| SF(%) | w/c(%) |     |     | 湿潤状態 |     |     | 乾燥状態 |     |     | 樹脂含浸 |    |    |
|-------|--------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|------|----|----|
|       | 45     | 50  | 55  | 45   | 50  | 55  | 45   | 50  | 55  | 45   | 50 | 55 |
| 0     | 408    | 407 | 426 | 287  | 300 | 293 | 372  | 419 | 430 |      |    |    |
| 剪断    | 1.0    | 397 | 364 | 370  | 268 | 248 | 230  | 429 | 395 | 444  |    |    |
|       | 1.5    | 392 | 386 | 358  | 278 | 268 | 222  | 384 | 388 | 395  |    |    |
| 異形    | 1.0    | 395 | 393 | 388  | 289 | 246 | 230  | 418 | 396 | 423  |    |    |
|       | 1.5    | 378 | 362 | 381  | 223 | 237 | 225  | 402 | 402 | 404  |    |    |

までの面積， $1.9\text{ mm}$ たわみ時までの面積を表-5 のように求め、それぞれにおける曲げ靱性とした。

しかし、実際に用いた鋼板せん断繊維では、最大曲げ荷重時に繊維の切断が起り、供試体が急激に破断してしまうので、 $1.9\text{ mm}$ という大変形時の靱性は求まらない。また、Henager<sup>6)</sup>によって提案され、ACI 544 委員会<sup>7)</sup>で採り上げられている $1.9\text{ mm}$ たわみ時の曲げ靱性を用いて靱性指数を求めたが、前述の理由により鋼板せん断繊維を用いた場合の樹脂含浸鋼繊維補強コンクリートの靱性指数は求まらない。なお、参考までに、3種の状態における動弾性係数を表-7 に示す。

6. 実験結果の考察

表-3 に示した曲げ強度を、C(コンクリート)，SFRC(鋼繊維補強コンクリート)，PIC(樹脂含浸コンクリート)，PISFRC(樹脂含浸鋼繊維補強コンクリート)の4種について、水セメント比ごとに一まとめにして概観すると、図-5 のようになる。これによればコンクリートや鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度は水セメント比の法則通りに $w/c$ の小さいものほど大きくなっているが、樹脂含浸コンクリートや樹脂含浸鋼繊維補強コンクリートでは水セメント比の法則からはずれ、樹脂による空隙充填効果をうけている。

この影響は表-2 と対応させてプロットした図-6 からもうかがえるが、表-2 の乾燥率と併せて検討してみると、 $w/c$ の大きいものほど含浸率が大きく、鋼繊維を混入することによって増加する空隙(鋼繊維とコンクリートの界面にも)が樹脂含浸によって補強され、 $w/c=55\%$ の場合、樹脂含浸による約70%の空隙充填率で鋼繊維コンクリートは曲げ強度を約3.5倍まで増大する。

なお、鋼繊維の種類別に曲げ強度を概観すると、図-7 のように、樹脂含浸した鋼繊維補強コンクリートでは異形鋼繊維の方が優れているが、これは図-3 から分るように、引張強度の小さな鋼板せん断繊維が供試体の曲げ破壊の際に切断してしまうからである。

次に、たわみについてみると、さきに図-3 や図-4 で見たように、鋼繊維補強コンクリートにすることによって、初期ひびわれ発生後の塑性域が増大し、曲げ荷重が最大の時のたわみは、コンクリートの2倍以上になるが、更に樹脂含浸によって弾性変形能力も大幅に増大するために、樹脂含浸鋼繊維補強コンクリートでは、最大曲げ荷重時のたわみは3倍以上大きくなる。これを鋼繊維の種類ごとに示すと、図-8 のように、樹脂含浸コンクリートでは曲げ強度と同じような増加を見せている。

この場合、更に曲げ靱性で示すと、図-9 のように、鋼繊維コンクリートでもコンクリートの3倍程度の靱性を示していたものが、樹脂含浸鋼繊維補強コンクリートにすることによって 8~11倍にも靱性が高まる。

これを靱性指数でみると、さきの表-6 のように、20~40という値を示す鋼繊維補強コンクリートに比較して、樹脂含浸鋼繊維補強コンクリートでは7~10

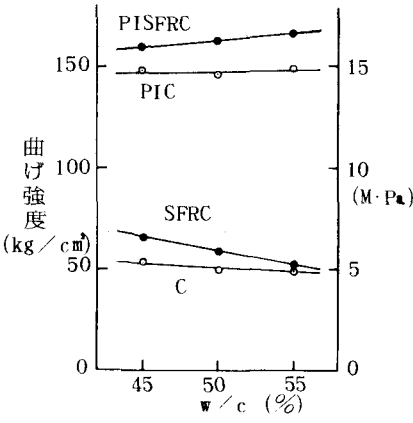


図-5 水セメント比と曲げ強度

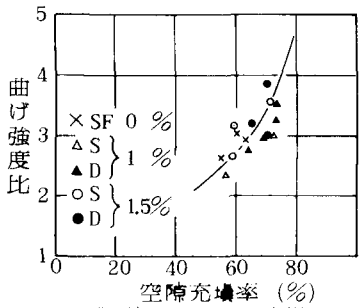


図-6 樹脂含浸による強度増加倍率

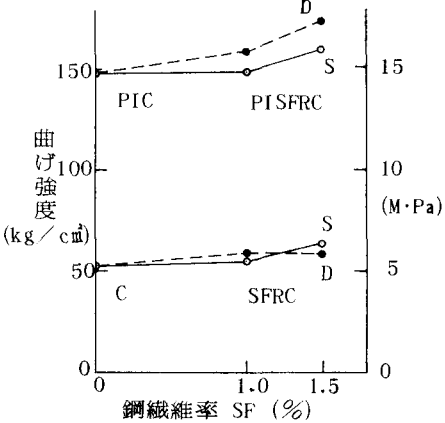


図-7 鋼繊維と曲げ強度

というむしろ小さい値を示している。これは表-5 で明らかのように、靱性指数の算出に用いる初期ひびわれ荷重時の靱性が相当大きいためであって、1.9mmたわみ時の靱性そのものは、図-10に示すように、コンクリートに比べて1/4～1/8倍の靱性を示すところの鋼繊維補強コンクリートの2倍にあたる2.7～4.1倍の大きな大変形時の靱性を示している。ただし、これは高張力異形鋼線を用いた鋼繊維の場合であって、通常の鋼板せん断繊維では最大荷重時以上の靱性は望めない。

なお、本実験では、乾燥状態におけるコンクリート及び鋼繊維コンクリートの諸値を併せて測定してきたが、表-7 に示した動弾性係数の例のように常時的な結果を得ている。

このような乾燥によってコンクリートの動弾性係数は湿潤状態の時の約70%まで下るが、鋼繊維補強コンクリートの場合には更に下って65%程度になる。しかし、樹脂を含浸させることによってコンクリートはほぼ元の湿潤状態までもどり、鋼繊維補強コンクリートは湿潤状態より5%程度越えた大きな値に復元する。

# 7. 結 論

ここでは曲げに関する実験結果のみをとりあげてみたが、その結果、樹脂含浸補強コンクリートに対して次のような結論を得た。

(1). 鋼繊維補強コンクリートに樹脂を含浸させることにより、鋼繊維補強コンクリートでは得られなかったような大きな曲げ強度と、樹脂含浸コンクリートでは得られなかった大きな変形能力が得られ、曲げ強度と曲げ靱性をともに飛躍的に改善することができる。

(2). 樹脂含浸と鋼繊維補強によるコンクリートの曲げ強度の改善の程度は3倍以上、靱性は曲げひびわれ時で4～5倍、最大曲げ荷重時で7～8倍、大変形時では40倍にも及ぶ。

(3). 鋼繊維補強コンクリートの靱性評価に用いられる靱性指数は、樹脂を含浸した場合、ひびわれ時の靱性が相当大きいだけに7～10といった小さな値となり、鋼繊維補強コンクリートの場合と同列には適用できない。

(4). なお、樹脂含浸コンクリートからの曲げ強度の増加は10～20%程度、靱性の増加は最大荷重時で1.5～2倍、大変形時で5～8倍である。また、鋼繊維補強コンクリートからの曲げ強度の増加は2.5～3倍、靱性の増加は最大荷重時で2～3倍程度、大変形時で2倍と少々である。

(5). ただし、一般に用いられている鋼板せん断繊維では、繊維自体の破断のため、靱性改善の効果が期待できないので、引張強度の大きな、樹脂含浸による付着強度の改善に見合った鋼繊維を用いる必要がある。

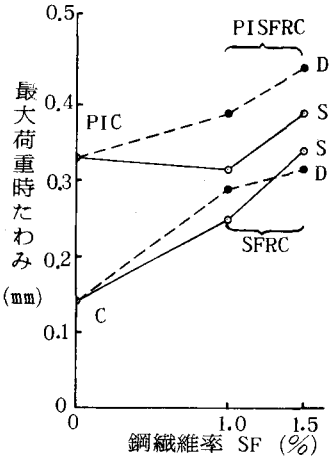


図-8 最大曲げ荷重時のたわみ

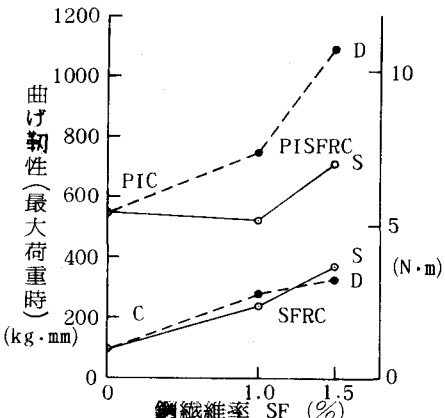


図-9 最大荷重時の曲げ靱性

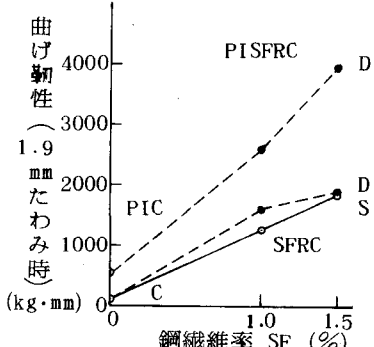


図-10 最大変形時の曲げ靱性

(6). 樹脂の含浸操作の問題点にふれると、含浸させたモノマーをコンクリート表面から逃がさないで十分なポリマー含浸率を確保する技術、とりわけ、現場施工のためのこの種の技術開発が必要である。

## 8. おわりに

本実験は卒業実験として、一関靖博君(現、戸田建設)及び大野幸次君(現、西松建設)の協力のもとにおこなった。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1). 尾崎詔, 西田久: モノマー浸透法によるコンクリートポリマー複合体について, 土木学会第28回年次学術講演会講演集, 昭和48年/0月.
- 2). 尾崎詔, 杉本博之, 志村政雄, 扇芝哲夫: 鋼繊維コンクリートについて, 土木学会北海道支部論文報告集, 第33号, 昭和52年2月.
- 3). 尾崎詔, 志村政雄, 昆野茂: 鋼繊維コンクリートの引張強度試験について, 土木学会北海道支部論文報告集, 第34号, 昭和53年2月.
- 4). 大岸佐吉: 繊維補強ポリマー含浸コンクリート, コンクリート工学, Vol. / 6, NO.7, / 978.
- 5). ACI Committee 548: Polymers in Concrete, ACI Separate Publications, 1977. (大浜嘉彦. 他訳, コンクリート工学, Vol. / 7, NO.5, 6, 8, / 979.)
- 6). C.H.Henager: A Toughness Index of Fibre Concrete, RILEM Symposium 1978, Testing and Test Methods of Fibre Cement Composites, Edited by R.N.Swamy, The Construction Press.
- 7). ACI Committee 544: Measurement of Properties of Fibre Reinforced Concrete, Journal of the American Concrete Institute, July, 1978.