

大 林 組 正員○山 王 博 之
東大生産技術研究所 " 小 林 一 輔

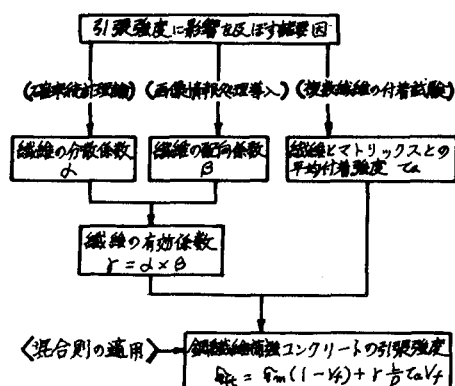
1. はじめに

鋼繊維補強コンクリートの引張強度の推定に関しては、現在繊維間隔説 (Fibre Spacing Concept) を基準とするものと一方向繊維強化材の強化則である混合則 (Law of Mixture) の適用によるものの2つの基本的な考え方がある。しかし、いずれの場合も引張応力方向に有効な繊維量を与える配向係数は幾何学的にランダムであるという仮定のもとに理論展開を行ない、さらにコンクリート中の繊維の分散度を全然考慮していない。

鋼繊維補強コンクリートの強度は、試験方法やその他の条件によってバラツキが大きいとされている。従って鋼繊維補強コンクリートの引張強度に影響を及ぼす諸要因の中で、硬化したコンクリート中の鋼繊維の分散度と配向度を正確に把握することは、その強度推定上重要な問題である。

本研究は、鋼繊維補強コンクリートの引張強度をより正確に推定するため、引張強度に影響を及ぼす諸要因のうちで、鋼繊維の分散度、配向度、並びに繊維とマトリックスとの付着強度について検討を行ない、それらの要因を一方向繊維強化材の強化則である混合則に適用して引張強度推定を試みたものである。図-1にその考え方のフローチャートを示す。

図-1 鋼繊維補強コンクリートの引張強度推定のフローチャート



2. 鋼繊維の分散と配向

コンクリート中の鋼繊維の分散度と配向度に影響を及ぼすと思われる要因として、締固め方法、繊維の形状寸法と種類、繊維混入率、並びにコンクリートの配合などをとりあげ、それらの要因効果を定量的に求めた。

コンクリート中の鋼繊維の分散度の測定方法は、練り混ぜの時に試料を採取し、その中に含まれる繊維の量を測定する洗い試験しかなされていない。しかし、これは練り混ぜ直後の繊維の分散性を調べるものであり、その後の運搬、打込み及び締固めなどによって繊維の分散状態は変化する可能性が十分にある。

ここでは、硬化したコンクリート中の鋼繊維の分散度に関しては、任意断面の繊維本数を数えて、それを確率統計学的に処理し、次のような分散係数で表わした。

$$\alpha = e^{-\phi} \quad \left(\phi = \sqrt{\frac{\sum (\chi_i - \mu)^2}{n}} / \mu, \quad \mu = \sum \chi_i / n, \quad n: \text{要素数} \quad \chi_i: \text{要素 } 2.5 \times 2.5 \text{ cm} \right)$$

に含まれる繊維量 (1)

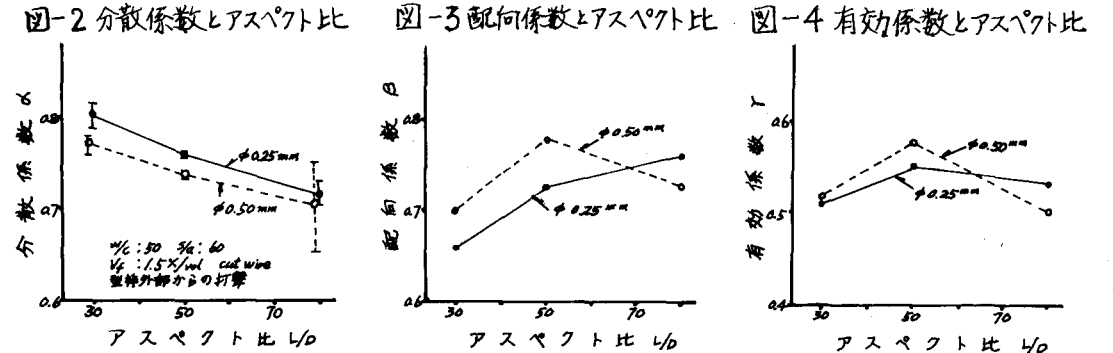
一方、従来用いられている配向係数 (一方向に有効な繊維長さを与える係数) には、三次元的に求めて、0.41、二次元的に求めて0.64、及び球面で考えて0.5などの値があるが これらの値は幾何学的に得られるものであってコンクリートのように種々の要因によって繊維の配向度が異なる材料に、そのような仮定に基づいて求めた値を用いるのは実情に即していないと思われる。従って本研究では、コンクリート中の鋼繊維の配向係数は、鋼繊維のX線像解析を用いて式(2)から求めた。そのX線像解析には、電子計算機による多次元画像情報処理を用いた。

$$\beta = \cos \left(\tan^{-1} \frac{A}{n D t} \right) \quad \text{..... (2)}$$

ここに、 $\bar{n}$ は任意区間に含まれている実際の繊維本数、 D は繊維の直径、 t は試験片の厚さ、 A は X 線像の総繊維投影面積である。

また、本論文では、繊維の配向度に繊維の分散度を考慮して、コンクリート中の引張応力方向に有効な繊維量を与える係数として分散係数 α と配向係数 β との積を有効係数 γ と定義した。

図-2、図-3、並びに図-4 に、それぞれ分散係数 α 、配向係数 β 、並びに有効係数 γ についての結果の一例を示す。



3 鋼繊維補強コンクリートの引張強度

鋼繊維補強コンクリートの引張強度は、一般に繊維混入率、繊維の分散度、配向度、コンクリートの引張強度、並びに鋼繊維の形状特性と品質などによって支配される。

鋼繊維補強コンクリートの引張強度を推定するために次のような仮定を設ける。

- 1) すべての繊維はマトリックス中で真直ぐな状態で分散しているものとする。
 - 2) 複合体が破壊するとき、繊維は破断せずにマトリックスから完全に引抜けるものとする。
 - 3) 引張荷重下において繊維とマトリックスとの弾性ひずみは等しいものとする。
- 以上のような仮定に基づいて、一方向繊維強化系複合材料の強化則である混合則を適用し、最終的に次のような式を導いた。

$$\sigma_{ft} = \sigma_{pt} (1 - V_f) + \gamma \frac{L}{D} \tau_a V_f \quad \text{..... (3)}$$

ここに、 σ_{ft} : 複合体の引張強度 (MPa)、 σ_{pt} : マトリックスの引張強度 (MPa)、 σ_{pt} : マトリックスの引張強度 (MPa)、 γ : 繊維の有効係数 (分散係数 α と配向係数 β との積)、 $\frac{L}{D}$: 繊維のアスペクト比、 τ_a : 複数繊維の付着試験から求めた平均付着強度 (MPa)、 V_f : 繊維混入率 (%/vol) である。また、上記推定式による計算値と直接引張強度試験を行なって求めた実験値との関係を図-5 に示す。

これによりこの推定方法が有効であることがわかる。

4. 結論

- 1) 鋼繊維をコンクリート中にランダムに分散せしめた鋼繊維補強コンクリートでは、締固めの条件、繊維混入率、鋼繊維の形状寸法、コンクリートの配合などの諸要因の変化によって鋼繊維の分散度と配向度は相当に異なることが明らかになった。
- 2) コンクリート中の鋼繊維の分散度を定量的に把握する手段としては指数関数を導入して求めた「分散係数」を用いる方法が有効であると思われる。
- 3) 鋼繊維補強コンクリートの引張強度を推定する場合、コンクリート中の引張応力方向に有効な繊維量は繊維の配向度に分散度を考慮して低減する必要がある。その低減係数として本実験の方法で求めた「分散係数」と「配向係数」との積である「有効係数」を用いることを提案した。
- 4) 鋼繊維補強コンクリートの引張強度の推定は、繊維の分散度、配向度、並びに繊維とマトリックスとの付着強度を考慮することにより、より正確に行なうことができる。

