

八戸工業高等専門学校 正会員 ○ 今野恵喜, 斎藤 進, 菅原 隆

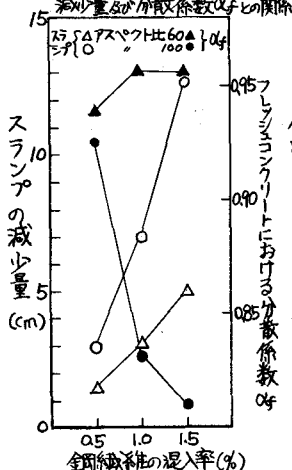
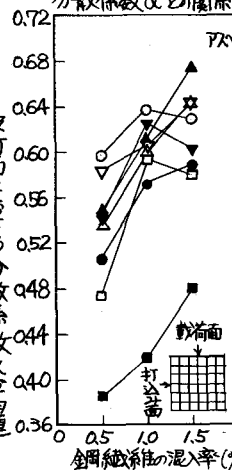
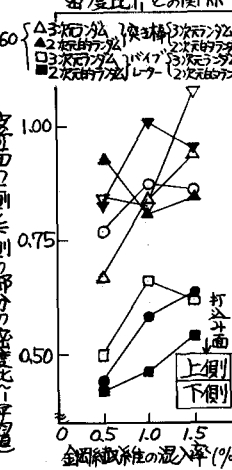
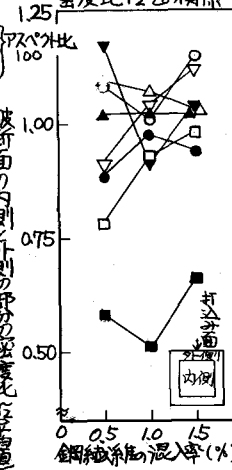
1. まえがき 本研究は、鋼繊維に関する要因と、その水準を表1の様に定めて、一連の実験を行い、分散度の表わし方、諸要因の分散度に対する効果、分散度の曲げ強度に対する効果等について、検討を加えたものである。

表1. 実験の要因と水準

要因	水準	1	2	3
A: 鋼繊維の混入率(容積)		0.5%	1.0%	1.5%
B: 鋼繊維の種類		アスペクト比60	アスペクト比100	
C: 配向法		3次元ランダム	2次元ランダム	
D: 締固め法		突き棒	バイブレータ	

(配向法が2次元ランダムの場合は、突き棒によって締め固める回数及びバイブレータによって締め固める時間が、3次元ランダムの場合と大幅に異なる。)

2. 実験方法及び実験結果 (2-1) 供試体の作成と曲げ試験-----基準コンクリートの γ_c は45%、粗骨材の最大寸法は15mm、その混入量は20%(容積)で、スランプが 15 ± 2 cmとなる様に配合を決定した。鋼繊維の混入に伴うスランプの減少は、図1に示す様に、鋼繊維の種類によって大きな差がある。供試体(15×15×53cm)は、1種類のコンクリートについて6個ずつ作成し、材令28日で曲げ試験を行った。(2-2) フレッシュコンクリートにおける分散度-----練り混ぜの終わったコンクリートから2Lの試料を12個採取し、試料中に含まれる鋼繊維の重量を測定して、(1)式より分散係数 α_f を求めることで、分散度を表わした。 $\varphi = \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 / n} / \bar{x}$, $\alpha_f = e^{-\varphi}$ ----- (1) 式で x_i は試料 i に含まれる鋼繊維の重量、 $\bar{x}$ はその平均、 n は試料の数である。図1より、混入率の増加に伴う分散係数 α_f の変化は、アスペクト比100の鋼繊維で非常に大きく、アスペクト比60の鋼繊維では、殆んど変化のないことが分る。

図1. 鋼繊維の混入率とスランプの減少量及び分散係数 α_f との関係図2. 鋼繊維の混入率と分散係数 α_f との関係図3. 鋼繊維の混入率と密度比 r_1 との関係図4. 鋼繊維の混入率と密度比 r_2 との関係

(2-3) 破断面における分散度-----供試体の破断面を36要素に分割して、各要素に含まれる鋼繊維の本数を測定して(1)式より、分散係数 α を求めることで分散度を表わした。ただし(1)式の適用において、 x_i は要素 i に含まれる本数、 $\bar{x}$ はその平均、 n は要素数とし、 α_f を α とする。また、打込み面を上にして、破断面の上側と下側の部分の鋼繊維の密度比 r_1 、及び内側(16要素)と外側(20要素)の部分の密度比 r_2 によっても、分散度を表わしてみた。混入率と分散係数 α 、密度比 r_1 、密度比 r_2 との関係を図2~4に示したが、これらの図より、3種類の表わし方による分散度は、同様の傾向があり、全体的に混入率の増加に伴って、分散度は高くなることが分る。また、バイブレータを用いて締め固めた場合には、分散度が低く、特にアスペクト比60の鋼繊維で、配向法が2次元ランダムの場合には、極端に低いことが分る。(2-4) 諸要因の分散度に対する効果-----4つ

の要因の分散度に対する効果を把握するために、分散係数 α を特性値として選び、分散分析(繰返し数6)を行った結果を表2に示す。表2より、分散係数 α に対する4つの要因の単独効果は、いずれも大きく、また、種類及び配向法と締固め法の交互作用も効果が大きいことが分る。この2つの交互作用に関する結果は、バイブレータを用いて締固めた場合には、鋼繊維の種類または、配向法の違いによって、分散係数 α 、すなわち分散度に大きな差が生じることを示すものである。

表2 分散分析の結果

要因	分散比 F ₀	寄与率 (%)
A	27.6**	14.3
B	30.1**	8.0
C	29.6**	7.7
D	51.8**	13.7
B×D	35.6**	9.3
C×D	26.4**	6.8
B×C×D	7.93**	1.7
E		38.5
T		100.0

表3 重回帰分析の結果

データの層別	説明変数として用いたもの		分散係数 α と密度P		分散係数 α と密度P		各変数間の相関係数		
	分散比 F ₀	寄与率 (%)	分散比 F ₀	寄与率 (%)	分散比 F ₀	寄与率 (%)	$\alpha-P$	$\alpha-\rho$	$\alpha-\rho$
3次元鋼繊維(ケース1)	35.8**	51.3	43.4**	56.1	38.2**	69.8	0.716	0.749	0.539
ランダム配向法(ケース2)	12.4**	26.7	97.3**	74.1	48.3**	74.5	0.516	0.861	0.656
2次元鋼繊維(ケース3)	15.0**	31.8	63.4**	65.1	46.9**	74.0	0.564	0.807	0.353
ランダム配向法(ケース4)	21.2**	38.5	120.0**	77.9	64.1**	79.5	0.620	0.883	0.587
3次元ランダム(ケース5)	35.6**	33.7	118.2**	62.8	63.9**	64.9	0.581	0.793	0.584
2次元ランダム(ケース6)	21.9**	23.9	173.2**	71.2	108.2**	75.8	0.488	0.844	0.339
全データ(ケース7)	24.2**	14.5	278.2**	66.2	143.2**	67.0	0.381	0.814	0.366
全データ α' (ケース8)	6.05*	4.1	278.2**	66.2	142.5**	66.9	0.202	0.814	0.147

**有意水準1%で有意(高度に有意), *有意水準5%で有意

(2-5) 分散度と曲げ強度との関係-----分散度が低い供試体では、曲げ強度が高いという想定の下に、分散係数 α と曲げ強度との関係を図示したものが図5、6である。図5には、配向法が3次元ランダムの場合の全データを、図6には、2次元ランダムの場合の全データをまとめて示した。これらの図より、バイブレータによって締固めた場合には、分散係数 α のばらつきの程度が大きくなること、配向法が2次元ランダムで、バイブレータによって締固めた場合には、分散係数 α が非常に小さくなるが、曲げ強度は、それほど低くならないことが分る。

(2-6) 分散度の曲げ強度に対する効果-----分散度の曲げ強度に対する効果を把握するために、配向法と締固め法の違いによってデータを4つの層(各層データ数36)に分けて、分散係数 α を説明変数、曲げ強度 R を被説明変数として、重回帰分析を行った結果を表3に示す(ケース1~4)。表3には、破断面の鋼繊維密度Pを説明変数とした場合、及び分散係数 α と密度Pの両者を説明変数とした場合の重回帰分析の結果も合わせて示してある。表3より、4ケースの平均寄与率は、分散係数 α を説明変数とした場合37.1%、密度Pを説明変数とした場合68.2%となり、分散度が密度と共に曲げ強度に対して、大きな効果を及ぼしていることが分る。更に、表3には、配向法の違いによってデータを2つの層(各層データ数72)に分けた場合、及び全データを1つの層(データ数144)とした場合の重回帰分析の結果(ケース5、6及びケース7)も示したが、ケース5、6はケース1~4に比べて、ケース7はケース5、6に比べて、データのばらつきの程度が大きくなり、寄与率は低下している。なお、表3のケース8は、分割要素の大きさを4倍にしたり、9要素によって求めた分散係数 α' を用いて、重回帰分析を行ったものであるが、この結果より、分割要素の大きさを適切に定める必要性のあることが分る。

3. まとめ (1)フレッシュコンクリートにおける分散度と、破断面における分散度とは全く相関がなく、曲げ強度との関係を論じる場合は、破断面における分散度(分散係数 α)を用いるのが適当である。(2)破断面における分散度(分散係数 α)は、鋼繊維の混入率と種類、配向法、締固め法の全ての効果を受けている。(3)破断面における分散度(分散係数 α)は、密度と共に、曲げ強度に対する効果が大きく、曲げ強度を高めるためには、分散度を高める必要がある。