

1. き裂材としてのプレーンコンクリートと鋼繊維補強コンクリートの強度評価について

プレーンコンクリートは一般に、圧縮強度に比べて引張強度や曲げ強度などが著しく低く、ひび割れを生じやすい欠点を有している。このような欠点を本質的に改善するため、近年、コンクリートの中に鋼製の短繊維を分散混入する、いわゆる鋼繊維補強コンクリートの開発研究が進められている。しかしながらこれらのコンクリートは、いずれも母材としてのセメントペーストとともに、骨格素材としての細・粗骨材ないし細・粗骨材と鋼繊維からなる複合材料であり、さらに練り混ぜ後には空隙や微小き裂のような欠陥の発生が予測されるぜい性不均質材料である。したがって、各種コンクリートの材料強度のパラメータとしては、平滑材に対する従来の降伏点強度(σ_{ys})とともにき裂材に対する破壊靱性(KCまたはGc)を併用する必要がある。コンクリートのようなぜい性材料の破壊靱性の決定には、現在、ASTMの平面ひずみ破壊靱性試験法¹⁾に準拠した曲げ試験法²⁾と、筆者らの開発した圧縮による試験法³⁾が提案され、それぞれに長所と短所があるが、①コンクリートは一般に圧縮材として使用されること、②試験装置が比較的簡単であること、などに注目すれば後者の方が有利である。

本報では、圧縮によるコンクリートの破壊靱性の決定方法に関する研究の一貫として、コンクリートの破壊靱性におよぼす骨材および鋼繊維の寸法効果について、若干の比較検討を行う。

2. 圧縮による破壊靱性試験の方法と供試コンクリートの配合

試験片の形状は、図1に示す中央スリット入り円板で、その寸法は直径 $2R=20\text{ cm}$ 、板厚 $t=2R/3$ 、スリット長 $2a=4\text{ cm}$ 、スリット幅 1 mm を目標に成形した。

破壊靱性試験の方法は、図1に示す円板の中心に集中圧縮荷重を真荷する方法で、その際、スリットの方が荷重線と一致するように配置した。荷重速度はほぼ一定(平均 2 ton/min)に保ち、試験片が破断するまで加圧し、破断までの最大荷重を測定した。試験機はアムスラ型耐圧試験機(使用容量 25 ton)を用いた。

コンクリートの破壊靱性は、コンクリートの骨格素材の粒度や配合の影響を受けることが予想されるので、ここでは表1に示す細・粗骨材と、表2に示す薄板切断法による普通鋼亜鉛メッキの鋼繊維を使用した。これらの骨材と鋼繊維の組み合わせにより、表3に示す2系列のプレーンコンクリートと2系列の鋼繊維補強コンクリートを打設し、上記の試験片をそれぞれ作製した。なお使用したセメントは普通ポルトランドセメント、細・粗骨材は川砂と川砂利である。

3. 応力拡大係数(K)の近似解と実用性

中央スリット入り円板が、スリット線に沿って集中圧縮荷重を受ける場合の応力拡大係数(K_I)は、円板の中心を座標軸の中心とする極座標系(α, ρ)を用いて、

$$K_I = \sigma_\alpha (\alpha = \beta, \rho = a) \cdot \sqrt{\pi a} \quad (1)$$

で表わされる。式(1)の解は $a/R=0.7$ までは、有効数字4桁まで一致するが、無スリット円板が集中圧縮荷重を受け

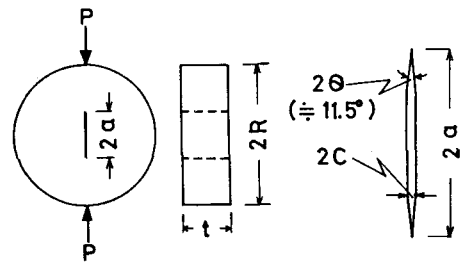


図1 中央スリット入り円板試験片

表1 細・粗骨材の粒度

Type Aggregate		% Retained on Sieve					F.M.	Specific Gravity
		25	20	15	10	5 mm		
Gravel	A	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	7.40	2.66
	B	0	0	30	60	100	6.60	
Sand		13	33	59	90	100	2.95	2.61

表2 鋼繊維の寸法と材質

(普通鋼の素材引張り強さは 70 Kg/mm^2)

Type	Thickness (mm)	Width (mm)	Length (mm)	Quality
ISF 25	0.25	0.50	25	Zinc Plating
ISF 32	0.50	0.50	32	JIS G3302 SPG

表3 プレーンコンクリートと鋼繊維補強コンクリートの系列別示方配合

Series	Type Concrete	Gradation or Type		Air Content %	Slump (cm)	Relative Weights, SSD				
		Gravel	Steel Fiber			Cement	Water	Sand	Gravel	Steel Fiber
I	Plain Concrete	A	-	4.5	18.0	1.0	0.60	3.0	3.0	-
II		B	-	3.6	10.0					
III	Steel Fiber R.C.	B	ISF25	4.7	3.0	1.0	0.60	3.0	3.0	0.26
IV		B	ISF32	5.3	5.5					

る場合には、荷重線に沿って一様な引張応力 $P/\pi R$ を発生するので、 $\beta = 0$ のすべての Q/R に対して式(1)を無次元化すると、無次元応力拡大係数

$$F = K_I / (P \sqrt{a/\pi} / R) \quad (2)$$

は一定 ($F = 1.0$) となる。

しかしながら、この無次元応力拡大係数の式(2)は外部の境界条件を無視しているので、現実には $F = 1.0$ になるかどうかを確認する必要がある。これについては、式(2)の計算値と Q/R との関係を示した例⁴⁾を引用すれば、 F 値は Q/R の増加とともに増大するが、 $Q/R \leq 0.4$ 程度までは、図2から、

$$F = 1.0 + 1.5 (Q/R)^2 \quad (3)$$

で実用上十分な精度で近似できることがわかる。今回の実験に使用した試験片の寸法は、 $Q/R = 0.2$ であるので、ここでは式(3)を適用して、最大荷重 (P_{MAX}) に対する最大応力拡大係数 (K_{IM}) を式(2)で計算した。

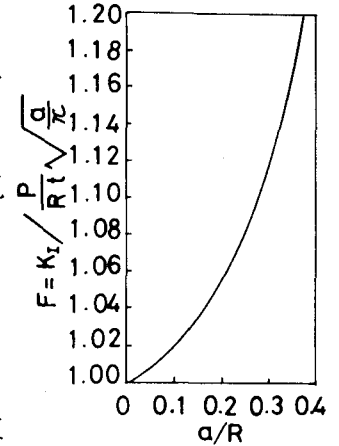


図2 無次元応力拡大係数の変化

4. コンクリートの破壊靱性におよぼす骨材および鋼繊維の影響

表-3に示した4系列のコンクリートについて、圧縮による破壊靱性試験の結果を総括すると表4が得られる。

まず、プレーンコンクリートの破壊靱性(最大応力拡大係数)に影響をおよぼす要因として、粗骨材の粒度あるいは最大粒径があげられる。すなわち、粗骨材A(最大粒径25mm, $FM = 7.4$) 使用のプレーンコンクリートIとB(最大粒径20mm, $FM = 6.6$) 使用のIIについて K_{IM} を比較すると、粗骨材の最大粒径、粗粒率ともに大きい系列Iのコンクリートの方が K 値が高くなる傾向が認められる。

次に、同一種の粗骨材を使用した系列IIのプレーンコンクリートと系列IIIまたはIVの鋼繊維補強コンクリートの K 値を比較

すると、後者の K 値の方が30%も高くなる。この事実は、鋼繊維にはコンクリートの K 値向上効果が大きいことを意味する。

また、鋼繊維補強コンクリートの破壊靱性におよぼす鋼繊維の影響については、表2に示す程度の寸法差では、 K 値に与える効果は認められない。今後は鋼繊維の寸法とともに形状、混入量の異なる鋼繊維補強コンクリートの K 値について検討を加える必要がある。

なお、表4の実測値と計算値にはバラツキが少なく、変動係数も P_{MAX} で2~6%、 K_{IM} で3~6%と小さいので、この結果から得られた結論は十分安定したものであると考えられる。

引用文献

- 1) ASTM Committee: ASTM Standard, E399-74, 1974
- 2) 陶山正憲: 新砂防, No. 101, 9~16, 1976
- 3) 金相哲・北川英夫・陶山正憲: 9回岩カシンポ, 1975
- 4) 北川英夫・陶山正憲・金相哲: 19回材研連講, 1975

表4 コンクリートの破壊靱性試験の結果

Series	R cm	t cm	W g	γ g/cm ³	P _{MAX} kg	K _{IM} kg/cm ^{3/2}	
I	1	10.08	6.55	4844	2.28	3850	48.6
	2	10.10	6.62	4812	2.27	3950	50.0
	3	10.11	6.59	4858	2.30	3850	48.9
	4	10.07	6.55	4812	2.31	4100	52.6
	5	10.06	6.57	4782	2.28	3950	50.4
mean	10.09	6.60	4822	2.29	3940	50.1	
II	1	10.07	6.67	4868	2.30	3490	43.9
	2	10.08	6.56	4812	2.30	3470	44.4
	3	10.08	6.64	4856	2.29	3640	46.0
	4	10.06	6.72	4910	2.30	3560	44.5
	5	10.09	6.54	4786	2.29	3640	46.7
mean	10.08	6.63	4846	2.30	3560	45.1	
III	1	10.05	6.47	4875	2.37	4350	56.6
	2	10.01	6.58	4965	2.40	4350	55.9
	3	10.05	6.57	4925	2.36	4300	55.1
	4	10.07	6.62	4955	2.35	4925	62.5
	5	10.05	6.58	4940	2.37	4525	57.9
mean	10.05	6.56	4932	2.37	4490	57.6	
IV	1	10.09	6.45	4790	2.32	4475	58.2
	2	10.05	6.66	4920	2.33	4515	57.1
	3	10.07	6.57	4880	2.33	4000	51.2
	4	10.07	6.50	4885	2.36	4650	60.1
mean	10.07	6.55	4869	2.34	4410	56.7	

(註) 記号中: W は試験片重量, γ は単位容積重量, P_{MAX} は最大荷重, K_{IM} は最大応力拡大係数