

# コンクリートのクラックと破壊機構

林業試験場九州支場 陶山正憲

## 1. コンクリートの材質的な特異性について

コンクリートのようなセメント硬化体は、一般に圧縮強度に比べて引張強度が著しく低い材料であるが、圧縮材としてのコンクリートが、時として圧縮荷重下でも強度的に異常な弱さを示すことも認められる事実である。この現象は、セメント硬化体が複雑な複合機構を示すとともに、材質的には空隙や微小クラックのような、き裂または力学的なき裂と等価と見なされる欠陥を含む、ぜい性かつ不均質材料であることが、その主たる原因と考えられる。すなわち、材料の内部に欠陥が存在する場合には、圧縮荷重下といえども、欠陥の近傍に高引張応力場が生じることがあり、この引張応力によってき裂が発生し、最終的には「割れ、にいたる破壊過程が考えられるからである。

本報では、コンクリートき裂材の強度評価に対する破壊力学的研究<sup>1)~3)</sup>の一環として、各種セメント硬化体のクラック発生・破壊機構について若干検討を行う。

## 2. 供試コンクリートの配合と破壊試験の方法

コンクリートの材料特性は、使用骨材の粒度や配合の影響を受けるものと考えられるので、表-1に示す細骨材と、表-2に示す4種類の粗骨材との組み合わせ

表-1 使用細骨材の粒度

	% Retained on Sieve						F.M.	Specific Gravity
	5.0	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15mm		
a	0	13	33	59	90	100	2.95	2.61

表-2 使用粗骨材の粒度

	% Retained on Sieve					F.M.	Specific Gravity	Type Gravel
	25	20	15	10	5mm			
A	0	50	80	90	100	7.40	2.66	River Gravel
B	0	44	78	89	100	7.34	2.66	
C	0	21	50	82	100	7.03	2.66	
D	0	0	30	60	100	6.60	2.66	

表-3 供試コンクリートの系列別の示方配合

	Relative Weights, SSD				Type Sand	Gradation		Air Content %	Slump (Flow) cm	Bleeding %
	Cement	Water	Sand	Gravel		Sand	Gravel			
I	1.0	0.52	2.5	—	River Sand	a	—	1.8	(21.2)	—
II	1.0	0.52	2.5	3.5		a	C	2.4	8.1	6.0
III	1.0	0.60	3.0	2.7		a	B	3.5	19.0	13.6
IV	1.0	0.60	3.0	3.0		a	D	3.6	10.0	8.8
V	1.0	0.60	3.0	3.0		a	A	4.5	18.0	11.3

により、表-3に示す5系列のセメント硬化体を準備した。なお、使用したセメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は川砂、粗骨材は川砂利である。

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 $2c=1\text{mm}$ を目標に成形した。これとは別に同一直径、同一板厚の無スリット円板試験片も作製した。なおコンクリートの練り混ぜ時間は3分間、試験時の材令は28日である。

圧縮による破壊試験の方法は、図-1に示す中央スリット入り円板の中心に集中圧縮荷重を負荷する方法である。その際、荷重線と円板スリットの傾斜角 $\beta$ は $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ で変化させ、クラックの発生位置と伝播方向、分岐点と合体状況などを詳細に観察した。荷重速度はほぼ一定(平均 $2\text{ ton/min}$ )に保ち、試験片が破断するまで加圧した。使用した試験機は、アムスラ型耐圧試験機で、使用容量は $25\text{ ton}$ である。

## 3. コンクリートのクラック発生機構と破壊過程

中央スリット入りコンクリート円板に、図-1のような集中圧縮荷重を載荷し、次第に荷重を上げると、 $0^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$ の場合には図-2のように、 $\beta \geq 75^\circ$ の場合には図-3のように、無スリット試験片の場合には

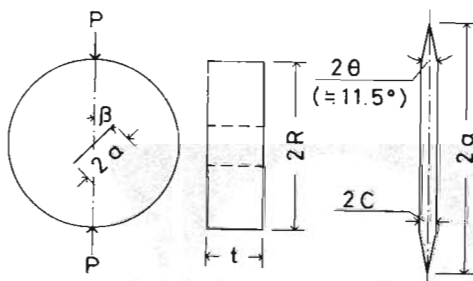


図-1 試験片の形状と載荷法(右はスリット拡大図)

図-4のように、それぞれクラックが発生する。これらは系列Ⅳのコンクリートの列であるが、この現象は使用した5系列のセメント硬化体のいずれにも認められる共通の傾向である。以下にクラックの発生後の破壊にいたる現象について、 $\beta$ の範囲別に検討する。

まず、 $0^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$  の場合には、図-2のようにクラックはいずれもスリットの両端から発生した後、①のクラックは、それぞれ矢印の方向に進行、伝播し、荷重点付近でいったん停止する。これを1次クラックと定義する。さらに荷重を上げると、今度は上下両荷重点近傍の円板縁から②のクラックが発生し、それぞれ矢印の方向に進展する。これを2次クラックと定義する。このクラックが1次クラックと合体する瞬間に、いったん停止していたクラック①が急速に③に成長し、一挙に最終破断にいたる。これは中央スリット入り円板の一般的な破壊過程であり、これと同様の現象は、鋼材、ガラス、大理石、各種の樹脂類など比較的均質な材料にも認められている。

次に、 $\beta \geq 75^\circ$  の場合には、図-3のようにクラックはほとんどスリット先端以外の点から発生する。この現象は、スリット幅の影響によるものと考えられるので、スリット幅を理想き裂と十分近以できる程度に小さくして、その効果を比較検討する必要がある。

また、無スリット円板が集中圧縮荷重を受ける場合には、荷重線に沿って引張応力が発生するので、理論的にはクラックは円板の中心を通り、荷重線の方に一直線に進行、伝播するはずであるが、現実には図-4のようにクラックは円板の中心を避けて曲進する場合が多い。この現象は、コンクリートの材質的な不均質性を裏付ける証拠と考えられる。

これを要するに、コンクリートのようなぜい性不均質材料の強度試験に、従来の無スリット試験片を適用する場合

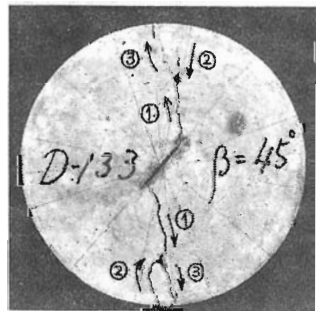


図-2 円板の破壊過程 $\beta = 45^\circ$

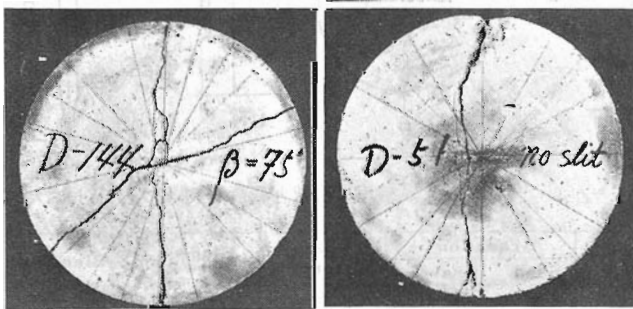


図-3 円板の破壊様相 $\beta = 75^\circ$

図-4 無スリット円板の破壊様相

の限界を示すものであり、この打開法としての破壊力学の有効性が十分に認められる。

#### 4. スリット傾斜角とクラック発生角との関係

一般に、材料中に潜在するき裂の先端から発生する、新しいクラックの発生角度は、き裂端における最大周方向応力説、によって解析解が求められている。この説によれば第1、第2モードの応力拡大係数比  $K_I/K_{II}$  は、クラック発生角  $\theta$  の関数で表わされるので、この解法に従って、 $a/R=0.2$  のときのスリット傾斜角  $\beta$  に対する  $\theta$  の理論曲線を求め、これを5系列のセメント硬化体に対する実験値とともに図-5に示した。

結果として、 $30^\circ < \beta < 75^\circ$  の場合には、系列Ⅰのモルタルと系列Ⅲ、Ⅳのコンクリートに対する、 $\theta$  の実験値が理論曲線に比較的好いのが、 $\beta \leq 30^\circ$  と  $\beta \geq 75^\circ$  の場合には、5系列とも  $\theta$  の実験値が理論曲線を下回る傾向が認められる。この現象については、材質的な問題とともに、クラック発生角の測定方法についても、さらに検討を加える必要がある。

#### 引用文献

- (1) 陶山正憲：86回口林講，418～419，1975
- (2) 陶山正憲：87回日林論，353～354，1976
- (3) 陶山正憲：90回日林論，471～474，1979

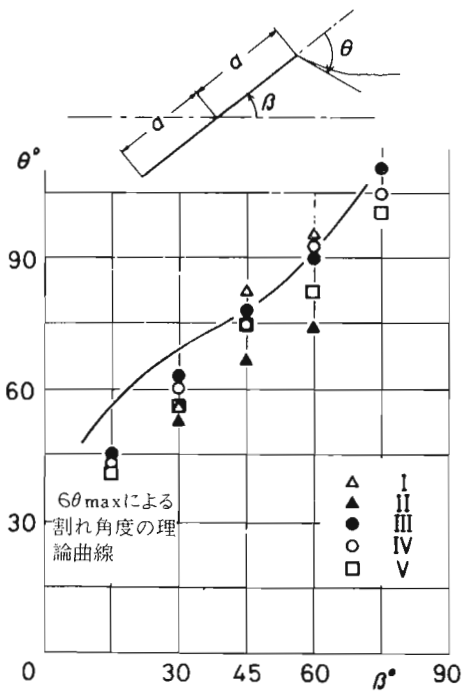


図-5 スリット傾斜角 $\beta$ とき裂発生角 $\theta$ の関係