

北海道大学 正員 ○ 佐伯 昇

" 藤田 嘉夫

" 高田 宣之

1. まえがき

コンクリートの一箇の弱点はマクロ的に見て骨材の界面であり、応力場の乱れの度合…、あるいはマトリックスと骨材の付着強度によってひびわれ発生荷重が左右されている。又ひびわれ伝播は骨材の Crack Arrest 作用によって緩慢なひびわれ進行状態を呈し、これにより形成された骨材界面の f_{law} は引張り荷重下はもとより圧縮荷重下においても引張り応力によるひびわれ伝播性状を有し、コンクリートの破壊強度に大きな影響を与えている。このため骨材の粒径はコンクリートのひびわれ発生伝播に対して重要な因子と考えられる。本研究では Griffith f_{law} を有するモデル供試体を用いて直接引張り試験を行い、対数応力度-ひびき曲線によってひびわれ伝播の性状を把握し、破壊靱性係数 (G) を求めて、骨材粒径によるひびわれ伝播の影響について検討を行っている。又斜め Griffith f_{law} を有するモデル供試体に圧縮応力をかけ、 f_{law} の先端に引張り応力場を作ってひびわれ発生、伝播性状について、直接引張り試験の結果と対比して検討を行っている。

2. 材料、供試体および実験方法

材料は早強ポルトランドセメント、細骨材は静岡海岸砂。粒径 $0.3 \sim 0.6$ mm, $0.6 \sim 1.2$ mm, $1.2 \sim 2.5$ mm, $2.5 \sim 5.0$ mm と標準砂 $0.1 \sim 0.3$ mm を使用した。配合は表-1に示すとおりである。供試体寸法は図-1に示すように $3 \times 10 \times 20$ cm で引張り試験用では $2C = 3.0$ cm, $t = 2$ mm, 圧縮試験用として $\theta = 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$ で $2C = 2.0$ cm, $t = 2$ mm の f_{law} が入ったものを作製した。

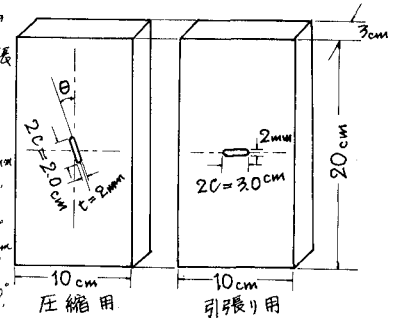


図-1 供試体

打設は10枚板分を厚さ方向に1丁。 f_{law} はアクリル板をあらかじめ設置しておき、打設後約5〜6時間で抜き取った。脱型は打設後24時間で行い、脱型後水中養生し、処定の材令の後ダイヤモンドカッターで厚さ方向に切断し約50枚作製した。ダイヤモンドカッターによる損傷は顕微鏡によって調べた発生していた。材令は2週間て実験を行った。

実験方法は直接引張り試験では偏に荷重をささげだけ除去するため、供試体の上下部にショーボンドで鋼鉄製のプレートと接着し、フック-4エーの連結で加力した。荷重速度は毎秒約 0.1 kg/cm^2 で載荷した。ひびきは f_{law} の先端で測定した。圧縮試験では毎秒 1 kg/cm^2 で載荷し、ひびわれ発生後は 0.25 分まで2分間荷重を停止し、ひびわれ成長が安定した後ひびわれ伝播を観察し、ひびきを測定した。実験は一種各3枚ずつ行った。

表-1 モルタルの配合

シリーズ名	粒径(mm)	水:砂>比	砂:砂>比
M _{s1}	0.1~0.3	0.55	2
M _{s2}	0.1~0.3	0.60	2
M _{0.5}	0.3~0.6	0.50	2
M _{1.0}	0.6~1.2	0.50	2
M _{2.0}	1.2~2.5	0.50	2
M _{4.0}	2.5~5.0	0.50	2

3. 実験結果および考察

(1) 直接引張り試験

f_{law} の長さ $2C = 0.5, 1.0, 2.0$ cm についても実験を行ったが f_{law} の外で破壊するものが多数あり、限界のひびわれ長さの程度がどうにあることが考えられる。図-2は $M_{s2}, M_{0.5}, M_{1.0}, M_{2.0}, M_{4.0}$ に対する対数荷重-ひびき曲線の1例でひびきは f_{law} の先端のものである。引張り荷重状態でも P_c, P_u の2つの特異点が認められ、 $M_{s2}, M_{0.5}, M_{1.0}$ あるいは $M_{2.0}, M_{4.0}$ では変化は無いが、この間では P_c, P_u とはかわりの変化が認められた。 P_c から P_u の

間は骨材界面のひびわれが進行していく過程であり、 P_u に近づくくとこれらの欠陥からひびわれがマトリックス中に伝播し、それとほとんど同時に破壊する。このためマクロ的ひびわれが認められる。これに対して圧縮荷重下では先の論文で示したように、ひびわれが発生しても骨材による Crack arrest の作用によって抑えられたひびわれ伝播性状を呈し、さらに大きな荷重まで耐える。これら引張り試験による Griffith の破壊靱性係数 ($G = \pi a^2 c / E$) を求めるとき表-2 のようになる。 G_B , G_u は破壊荷重および終裂点 P_u に対するものである。 M_{s2} , $M_{0.5}$, $M_{1.0}$ に対して $G_B = 0.0039 \sim 0.0059 \text{ kg/cm}$ の範囲にあり平均 0.0049 kg/cm 、 $M_{2.0}$, $M_{4.0}$ に対して $G_B = 0.0020 \sim 0.0027 \text{ kg/cm}$ にあり、平均 0.0024 kg/cm であった。 G_u は M_{s2} , $M_{0.5}$, $M_{1.0}$ に対して $0.0031 \sim 0.0043 \text{ kg/cm}$ にあり平均 0.0037 kg/cm であった。 $M_{2.0}$, $M_{4.0}$ に対して $G_u = 0.0011 \sim 0.0022 \text{ kg/cm}$ にあり、平均 0.0016 kg/cm であった。この事より細骨材の粒径が 1.2 mm 以上になるとひびわれ伝播の性状が変化する事が考えられる。曲げ試験の求めた G_B の約 1/2 になっており応力分布の違いなどこれから検討を加える問題として残す。

(2). 引張り荷重下と圧縮荷重下でのひびわれ伝播の差異

引張り荷重下での flaw の先端ではマクロ的に見てひびわれは生じなく、微小ひびわれ

発生と同時に破壊していると考えられる。これに対して圧縮荷重下ではひびわれ発生伝播し、ある応力レベルでひびわれが急急に進展する終裂点が生じて破壊する。そこで引張りの破壊荷重 P_u と圧縮荷重下で flaw の先端でひびわれが発生する荷重 P_c と対応することが考えられる。ひびわれ荷重がもっとも正確に捕えられらる P_u と P_c と対応すると考えられる。圧縮荷重下、傾きを θ した flaw の先端の最大引張り応力度 σ_{max} に対する引張り荷重下の flaw 先端の応力集中度の比を α とすると、この flaw の寸法では $\theta = 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$ で α は各々 $10.31, 10.59, 11.95$ であり $P_c/\alpha P_u = 1$ であれば P_c の圧縮荷重下によって生ずる最大引張り応力度と引張り荷重下 P_u によって生ずる先端での最大引張り応力は同じである。圧縮荷重下の flaw の傾きが $30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$ に対して $P_c/\alpha P_u$ を求めたのが図-3 で白印のが $P_c/\alpha P_u$ をプロットしたものであり、圧縮破壊荷重を P_B として、 $P_B/\alpha P_u$ を求めたのが黒印である。三角印は M_{s1} 、丸印は $M_{1.0}$ 、四角印は $M_{2.0}$ を表わしている。これによると圧縮荷重下でのひびわれ発生応力と引張り荷重下での破壊応力が対応している。又 $P_B/\alpha P_u$ に対しては約 2 の値をもっており、ひびわれが入っても圧縮荷重下では骨材の Crack arrest の作用によって破壊荷重がさらに増加する事が明らかになった。

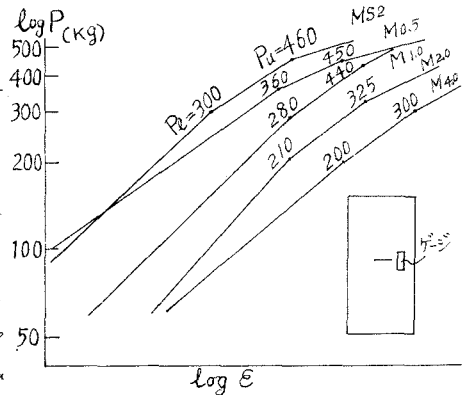


図-2 対数荷重-ひずみ曲線(引張)

試片名	P_B kg	P_u kg	P_c kg	E ton/cm ²	G_B kg/cm	G_u kg/cm
Ms2	513	460	300	300	0.0048	0.0039
	525	440	290		0.0050	0.0035
	497	440	250		0.0046	0.0036
Mo.5	550	450	360	308	0.0059	0.0039
	550	470	260		0.0059	0.0043
	445	400	330		0.0039	0.0031
M1.0	543	470	320	325	0.0052	0.0039
	486	450	300		0.0041	0.0036
	520	440	280		0.0047	0.0034
M2.0	350	265	160	338	0.0020	0.0011
	400	325	270		0.0026	0.0017
	400	325	130		0.0029	0.0019
M4.0	400	300	200	347	0.0027	0.0015
	400	360	280		0.0027	0.0022

表-2 破壊靱性係数

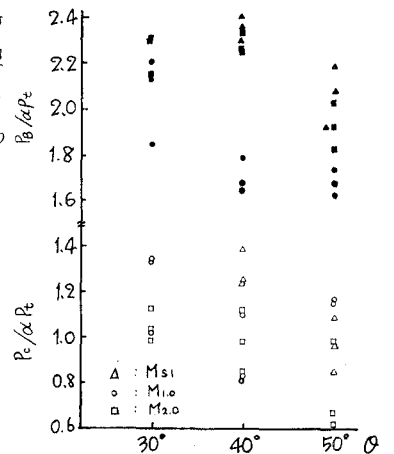


図-3 骨材粒径による Crack Arrest

四角印は $M_{2.0}$ を表わしている。これによると圧縮荷重下でのひびわれ発生応力と引張り荷重下での破壊応力が対応している。又 $P_B/\alpha P_u$ に対しては約 2 の値をもっており、ひびわれが入っても圧縮荷重下では骨材の Crack arrest の作用によって破壊荷重がさらに増加する事が明らかになった。