

北海道大学 正員 横道 英雄
 同 正員 高田 宣之
 同 正員 佐伯 昇

1. まえがき

コンクリートの強度はコンクリート内部にある空隙や骨材の界面での応力集中によって生ずるひびわれおよびその伝播によって大きく左右されている。圧縮応力状態ではひびわれは互いにひびわれ進行を arrest して安定したひびわれ伝播をするが、ある限界の状態では急速なひびわれ成長が生じ破壊にいたる。これに対して引張り応力下ではある長さのひびわれが発生すると同時に破壊する。本論文ではこの限界の状態は鋭敏なマイクロホンひびわれ信号が多数出始める時に起ると仮定して圧縮応力状態のひびわれ長さ、傾きおよび間隔について調べ Griffith の破壊理論を適用するにむく基礎的研究について述べている。

2. 材料、供試体および実験方法

使用材料は早強ポルトランドセメント、細骨材には標準砂を用いた。配合は水セメント比 55%、 $S/C = 2$ で手練りで練り混ぜた。型枠は鋼製を用い、ブリーディングの影響を除去するために打設後 6 日に図-1 に示すように打設上面 3 cm をダイヤモンドカッターで切り取った。打設方向は気泡を出来るだけ除くため長さの短かい加力方向に直向に打設した。図-1 に示すように $3 \times 10 \times 20$ cm のモルタル供試体 19 枚作成した。打設後 24 時間は型枠のまま養生し、脱型後試験日まで 20°C の水槽で水中養生を行い材料 7 日で実験を行った。弾性係数 300 t/cm^2 、ポアソン比 0.19。

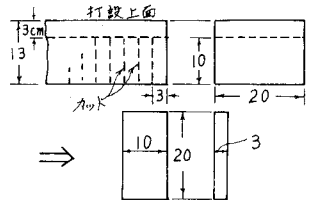


図-1 供試体形状寸法

試験方法は収縮の影響をなくするために水槽から出して水をきり、すぐに黒インクを塗った紙で供試体に巻いて、そのまゝの状態に載荷した。これによってひびわれ測定を容易にするのと、測定時の収縮によるひびわれとを区別した。破壊荷重の 0、4割、6割、マイクロホンによる Critical な荷重および破壊直前の荷重で、それぞれ除荷し、ひびわれ成長を顕微鏡で観測した。Critical なひびわれ荷重は図-2 に示すようにひびわれ信号が多くなり出す時点であるとしたり。このマイクロホンによる信号は破壊荷重の 0 ~ 6割程度まで定常状態であり 8 ~ 9割附近でいこう Critical な状態になる。載荷速度は 1 t/min で行った。

3. 試験結果と考察

破壊荷重の 0、4割まではひびわれは無く 6割では図-3 に示すように気泡の周りに荷重方向に平行に 1 mm 程度のひびわれが生じている。マイクロホンによるひびわれ信号は定常状態にあり、顕著な信号は数個探知できる程度である。図-4 はひびわれ信号が Critical な状態を示している、気泡の周り、その他に 1 mm 程度のひびわれが横の間隔 $1 \sim 2 \text{ mm}$ で数個垂直に階段状に並んでひびわれ zone を作り、又ある間隔を離れて各ひびわれ zone を作っている、各 zone は独立しているが、それぞれのひびわれ zone 内ではひびわれは互いに従属していると考えられる。図-5 は破壊直前のひびわれ状態を示している、ひびわれ信号も大きくなるが発生する。この荷重状態を数秒続けると破壊にいたる。顕著なひびわれ進行の部分が生じて破壊面を形成してくる。この zone でのひびわれ長さは 3 mm から最大 5 mm 程度あり、各ひびわれの横の間隔は $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ で縦の間隔は 0 がある。この重なる状態を階段上に配列して

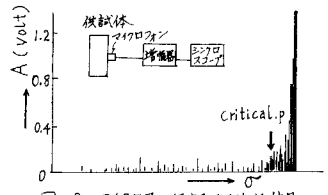


図-2 マイクロホンによるひびわれ信号

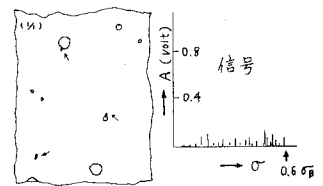


図-3 0.6σ 時のひびわれ状態

いる。破壊面の形成時においては、ひびわれ自身互いに垂直方向の進行が arrest されて横方向にひびわれが広がって、いつある角を成す破壊面を形成していく。破壊面より少し離れた付近では $1 \sim 2 \text{ mm}$ の長さであるが、それより離れるとひびわれの顕著な進展は見られない。図-6 はひびわれ信号が critical な状態でのひびわれ性状について示したもので供試体の表面 $5 \times 5 \text{ cm}$ の範囲で、ひびわれ長さ (l)、垂直となす角 (β)、ひびわれの横の間隔 (a)、縦の間隔 (b) について測微鏡で測定したものである。ひびわれ長さは 0.5 mm 、 1 mm 、 2 mm についての個数を測定した。ひびわれは曲線であり、ひびわれ端も鮮明でないので $\pm 0.5 \text{ mm}$ の誤差を見こんでいるのである。ひびわれ長さは 1 mm が全体の 55% で卓越している。傾きは垂直が 70% を占めている。ひびわれの横および縦の間隔はひびわれが数個がたまっている場合のもので、 5 mm 以上離れているものは除外している、すなわちひびわれが互いに従属しているのを扱った。又縦間隔は重なる場合 0 と考えた。横の間隔は 1 mm が多く、縦間隔は $0 \sim 1 \text{ mm}$ で 80% を占めている。図-7 は破壊直前のひびわれ性状で図-5 の状態に対応している。図-6 と同じように $5 \times 5 \text{ cm}$ 内のひびわれを観測している。ひびわれ総数は約 150 で critical より 1.5 倍となっている。長さでは $1 \sim 2 \text{ mm}$ が 70% を占め、卓越しているが破壊面を形成しようとしている所の長さは 3 mm が多く、これが繋がって破壊面を形成する。傾きは垂直のものも 75%、横間隔は $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ が 60%、縦間隔は 0 のものが 70% を占めている。これらによって圧縮荷重下の critical なひびわれ長さは $1 \sim 3 \text{ mm}$ 程度であることが推定される。Kaplan¹⁾、Hansen²⁾ の計算法を用いて引張り荷重下の critical なひびわれ長さを求めてみると、Brunauer によってペーストの $T = 370 \text{ dyne/cm}$ 、石英は $T = 980 \text{ dyne/cm}$ 、この供試体のセメントと石英の体積比は 1:2.5 で $T = 811 \text{ dyne/cm}$ 、 $E = 300 \text{ t/cm}^2$ 、 σ は圧縮強度の $1/10$ として 29.7 t/cm^2 とすると $l = 2ET/\sigma^2 = 0.18 \text{ cm}$ となり critical な長さは 3.6 mm であり、1桁の誤差を考慮して $0.36 \sim 3.6 \text{ mm}$ となりほぼ圧縮応力下の critical な長さと一致している。これは狭い実験の結果であり、中広の試験が必要と思われ、次の目安にすべきと思われ。

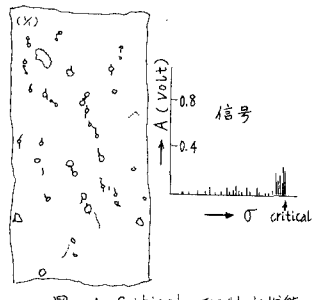


図-4 Criticalのひびわれ状態

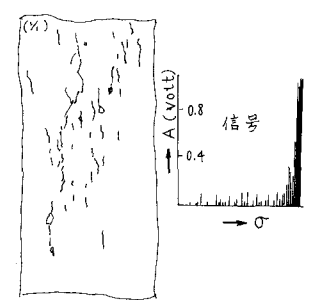


図-5 破壊直前のひびわれ状態

いて示したもので供試体の表面 $5 \times 5 \text{ cm}$ の範囲で、ひびわれ長さ (l)、垂直となす角 (β)、ひびわれの横の間隔 (a)、縦の間隔 (b) について測微鏡で測定したものである。ひびわれ長さは 0.5 mm 、 1 mm 、 2 mm についての個数を測定した。ひびわれは曲線であり、ひびわれ端も鮮明でない

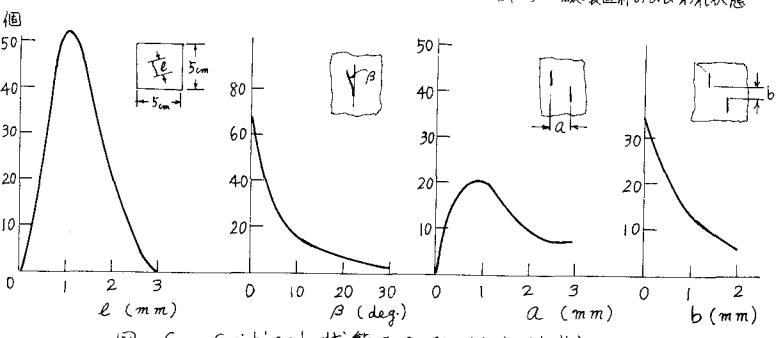


図-6 Critical状態でのひびわれ性状

ので $\pm 0.5 \text{ mm}$ の誤差を見こんでいるのである。ひびわれ長さは 1 mm が全体の 55% で卓越している。傾きは垂直が 70% を占めている。ひびわれの横および縦の間隔はひびわれが数個がたまっている場合のもので、 5 mm 以上離れているものは除外している、すなわちひびわれが互いに従属しているのを扱った。又縦間隔は重なる

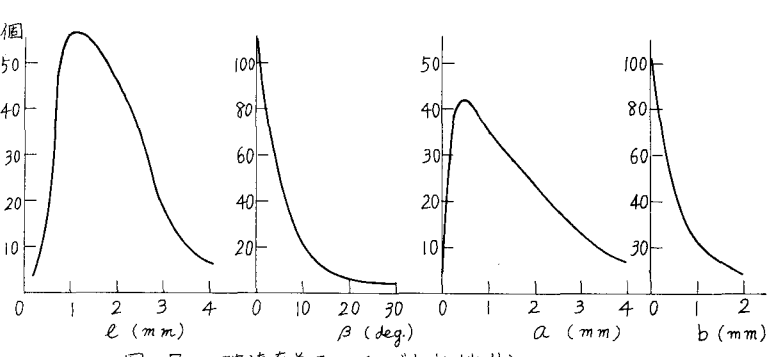


図-7 破壊直前でのひびわれ性状

下場合 0 と考えた。横の間隔は 1 mm が多く、縦間隔は $0 \sim 1 \text{ mm}$ で 80% を占めている。図-7 は破壊直前のひびわれ性状で図-5 の状態に対応している。図-6 と同じように $5 \times 5 \text{ cm}$ 内のひびわれを観測している。ひびわれ総数は約 150 で critical より 1.5 倍となっている。長さでは $1 \sim 2 \text{ mm}$ が 70% を占め、卓越しているが破壊面を形成しようとしている所の長さは 3 mm が多く、これが繋がって破壊面を形成する。傾きは垂直のものも 75%、横間隔は $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ が 60%、縦間隔は 0 のものが 70% を占めている。これらによって圧縮荷重下の critical なひびわれ長さは $1 \sim 3 \text{ mm}$ 程度であることが推定される。Kaplan¹⁾、Hansen²⁾ の計算法を用いて引張り荷重下の critical なひびわれ長さを求めてみると、Brunauer によってペーストの $T = 370 \text{ dyne/cm}$ 、石英は $T = 980 \text{ dyne/cm}$ 、この供試体のセメントと石英の体積比は 1:2.5 で $T = 811 \text{ dyne/cm}$ 、 $E = 300 \text{ t/cm}^2$ 、 σ は圧縮強度の $1/10$ として 29.7 t/cm^2 とすると $l = 2ET/\sigma^2 = 0.18 \text{ cm}$ となり critical な長さは 3.6 mm であり、1桁の誤差を考慮して $0.36 \sim 3.6 \text{ mm}$ となりほぼ圧縮応力下の critical な長さと一致している。これは狭い実験の結果であり、中広の試験が必要と思われ、次の目安にすべきと思われ。

1) Kaplan, M. F., "Crack propagation and fracture of concrete." ACI Journal, pro. v 58, no. 5, Nov. 1961, pp. 591-610

2) Hansen, J. C., "Cracking and fracture of concrete and cement paste". ACI sp 20, 1968