

蛍光顕微鏡によるモルタル中のひびわれの観察

金沢大学 正会員 五十嵐心一

金沢大学 正会員 川村 満紀

金沢大学 学生員○北原 章広

1. まえがき

コンクリートの破壊は硬化セメントペースト中における微細なひびわれの発生と進展、および骨材粒子がそのひびわれの進展を拘束する程度に影響され、その進展過程はコンクリートの微視的構造の不均質性に密接に関係している[1]。これまで、コンクリート中のひびわれの進展メカニズムを微視的および巨視的な見地から明らかにするために多くの方法が用いられてきたが[2]、ひびわれとコンクリート中の微視的構造との相互作用については必ずしも明らかない。

本研究は、くさび押し込み試験によって発生させたセメントペーストおよびモルタル中のひびわれ自体とその周辺を蛍光顕微鏡によって観察することによって、ひびわれ進展の特徴およびセメントペーストマトリックス中に鋼繊維が存在する場合におけるひびわれと繊維の相互作用について明らかにし、セメントペーストやモルタル中におけるひびわれの進展過程の解明における蛍光顕微鏡観察の有効性について検討することを目的とする。

2. 実験概要

(1) 使用材料および配合

使用したセメントは普通ポルトランドセメントである。また、シリカフュームのセメント重量に対する置換率は10%であり、細骨材には標準砂を使用した。使用した鋼繊維は異形加工のないストレート繊維でありその直径は 0.6mm、長さは 30mmである。セメントペーストおよびモルタルの配合は W/C=0.55であり、セメント/砂比=1.5とした。

(2) 供試体作成

使用した供試体の寸法は図-1に示すとおりであり、厚さは10mmである。また、供試体中央部に切欠きを導入するためにプラスチック板(厚さ0.5mm)を配置してペーストおよびモルタルを打設した。切欠きの長さは 25mmとした。打設された供試体は恒温恒湿室(温度20℃、湿度90%)にて24時間静置後脱型し、材令 28 日まで水中養生(20℃)を行った。

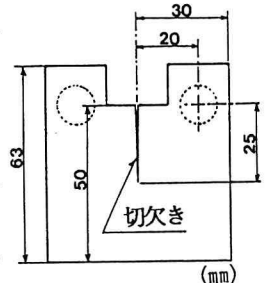


図-1 供試体寸法

(3) 蛍光顕微鏡観察

所定の荷重までくさびを押し込むことにより切欠き先端からひびわれを発生させた供試体をただちにエタノールに浸漬した。エタノール浸漬終了後、供試体を真空樹脂含浸装置に入れて排気し、蛍光染料を含有したエポキシ樹脂を含浸させた。樹脂の硬化後供試体表面を耐水研磨紙を用いて研磨して、落射型蛍光顕微鏡を用いてひびわれの観察を行った。

3. 結果および考察

写真-1は普通セメントペースト中を進

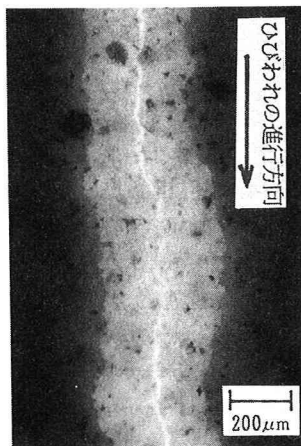


写真-1 普通ペースト

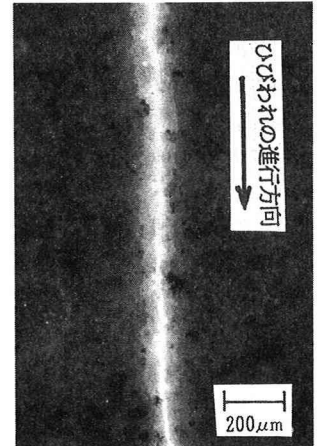


写真-2 シリカ混入ペースト

展するひびわれを示したものである。幅 $20\mu\text{m}$ のひびわれはほぼ一定幅の蛍光領域中を進展し、またそのひびわれの不連続部分も観察される。一方、写真-2はシリカフェーム混入セメントペースト中のひびわれを示したものである。ひびわれに沿う蛍光領域の幅は明らかに狭くなっている。写真-3はモルタル中のひびわれを示したものである。写真-3よりひびわれは骨材粒子によりその進展を妨げられ、写真-1、および-2に示すセメントペーストの場合のように直線的に進行する事はなく、その進展経路は骨材粒子界面に沿うものであることがわかる。このように、写真-1～-2においてひびわれに沿ってほぼ一定幅の蛍光領域が観察されるが、これはプロセスゾーンの跡として残ったプロセスゾーンウェイクであると考えられる。プロセスゾーンおよびプロセスゾーンウェイクの形成は靱性の増大に寄与すると考えられるが、シリカフェーム混入ペーストにおいてはプロセスゾーンウェイクの幅は小さい。この事はシリカフェーム混入ペーストにおいては G_F が低下すること(表-1)とも矛盾しない。写真-4はセメントペースト中を進展してきたひびわれが鋼繊維によってどのように変化するかを示したものである。繊維の存在によるひびわれ経路の移行および分岐、さらに繊維-マトリックス界面における付着破壊とマトリックスの圧壊部分も観察される。一方、写真-5は写真-4のひびわれの先端部を示したものである。ひびわれは観察されないが、長さが約 4.6mm の蛍光領域が存在している。これは微細なひびわれが累積した領域と考えられ、プロセスゾーンに相当するものと思われる。

4. まとめ

蛍光顕微鏡観察により配合の相違にともなうひびわれの特徴およびプロセスゾーンやプロセスゾーンウェイクと考えられる領域が明瞭に観察された。また、骨材や鋼繊維がひびわれに及ぼす影響も観察され、蛍光顕微鏡観察はひびわれの進展機構の解明に非常に有効な手法であるといえる。

<参考文献>

- [1]Struble, L. J., J. Am. Ceram. Soc., 72[12], pp. 2295-99 (1989)
- [2]Mindess, S., Toughening Mechanisms in Quasi-Brittle Materials(ed. S. P. Shah), Kluwer Academic Publishers, pp. 271-288 (1991)

表-1 各マトリックスにおける G_F 値

	$G_F(\text{kgf/cm})$
普通ペースト	0.01021
シリカ混入ペースト	0.00860
普通モルタル	0.03184

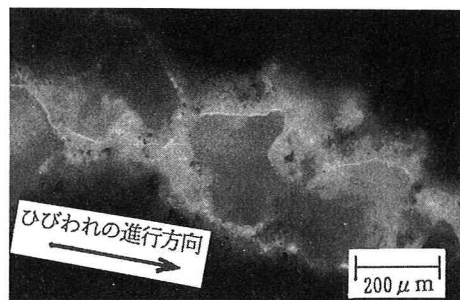


写真-3 普通モルタル

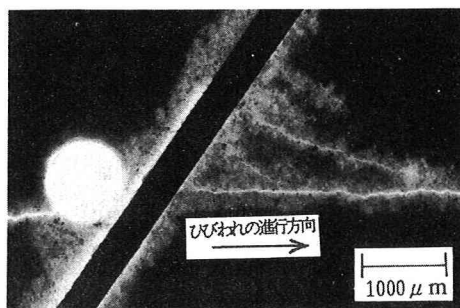


写真-4 鋼繊維入り普通ペースト

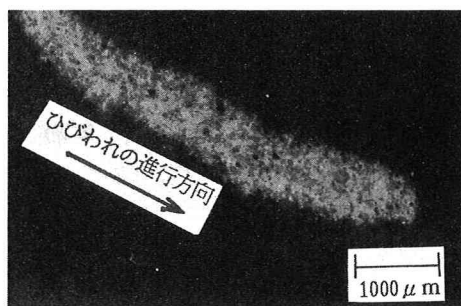


写真-5 ひびわれ先端部