

金沢大学

正会員

五十嵐 心一

Technion-Israel Institute of Technology A. Bentur

University of British Columbia

S. Mindess

1. まえがき

ビッカース硬度のように一定荷重の下で圧子を試料に押し込み、そのとき残された圧痕の寸法から硬度を測定する微小硬度法は、セメント系材料の他の力学的特性を推定するための非破壊試験法の一つとして、およびセメント硬化体内部の微視的構造の変化を調べる方法として広く用いられている。しかし、同一材料であっても、負荷荷重の大きさによって得られる微小硬度値は変化することが多くの材料で確認されている[1]。この微小硬度の荷重依存性は圧痕の寸法効果とも称され、この寸法効果特性がその材料の微視的構造の特徴を反映することが指摘されている[2]。しかし、セメント系材料に関して、複数の荷重レベルで微小硬度を測定して、圧痕の寸法効果を内部組織の特徴と関連づけて検討した例はない。本研究においては、押し込み荷重を変化させて微小硬度試験を行いセメントペーストの圧痕の寸法効果特性を明らかにするとともに、水セメント比の変化およびシリカフェュームの混入が寸法効果特性に及ぼす影響を微視的構造の変化の特徴と関連づけながら論ずる。

2. 実験概要

(1) 使用材料

使用したセメントはタイプ I ボルトランドセメントである。セメントペーストの水セメント比は 0.35、0.40 および 0.50 と変化させ、シリカフェュームの置換率は 10% とした。使用したセメントペーストの配合を表-1 に示す。

表-1 セメントペーストの配合

W/C	シリカフェューム (%wt. C)	高性能減水剤 (%wt. C)
0.35	0	0
0.40	0	0
0.40	10	1.0
0.50	0	0

(2) ビッカース硬度試験

15×15×30mm のセメントペースト供試体を作製し、水中養生(20℃)を行った。材令 14 および 28 日にて、供試体をダイヤモンドカッターで切断し、その断面を研磨した。押し込み荷重を 5gf、15gf および 25gf の 3 レベルとして、それぞれの荷重に対して研磨断面の水和物相の任意の 30 箇所微小硬度測定を行った。押し込み荷重と圧痕径を対数グラフにプロットし、最小自乗法により(1)式による回帰を行った。この直線回帰式の傾き n と y 切片 $\ln K_L$ が寸法効果パラメータであり、 $n=2$ のとき微小硬度は負荷荷重の大きさによらず一定であり、 $n > 2$ では荷重の増大とともに微小硬度は増大し、 $n < 2$ のとき荷重の増大にともない微小硬度は低下する。また、 n の 2 からの偏差が寸法効果の程度を表わす。

$$\ln P = \ln K_L + n \ln a \quad (1)$$

P : 押し込み荷重

a : 圧痕径の 1/2

K_L および n : 材料パラメータ

3. 結果および考察

図-1 は押し込み荷重を変化させたときの微小硬度値の変化を示したものである。押し込み荷重の増大とともに微小硬度値は増大し ($n > 2$)、セメントペーストの微小硬

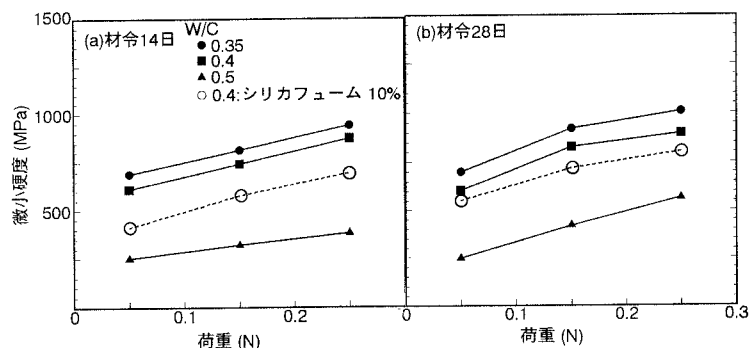


図-1 微小硬度値と押し込み荷重の関係

度は一定の材料特性値ではない。また、その荷重依存性の傾向は一般的に金属材料に認められる傾向とは反対であり、荷重を増大させても、同じ微小硬度値を示す程度には圧痕は大きくならないことがわかる。

図-2にそれぞれのセメントペーストの押し込み荷重と圧痕径の関係を示す。水セメント比が0.40以下の普通セメントペーストにおいては、材令の進行にともなう n および K_L の変化がほとんど認められない。これに対して、水セメント比=0.50の普通セメントペーストおよびシリカフュームペーストでは n および K_L の値に変化が認められる。しかし、シリカフュームペーストは n が減少して2へ近づく方向へ変化するのに対して、普通セメントペーストは n の増大する方向へ変化し、両者の内部組織の形成過程に相違があることを示唆している[3]。これは図-1の回帰式の変化からわかるように、圧痕の変化が認められる荷重に相違があり、微視的構造に顕著な変化を生じる組織の代表寸法が異なることに対応している。水セメント比=0.50の普通セメントペーストは、毛細管空隙を多量に含んだ組織になっていると考えられる。材令14日から28日の間にこの大きな径の空隙が水和反応生成物により充填されて骨格構造の連続性が顕著に増大し、結果として、押し込み荷重による変形がより大きな範囲の組織により抵抗を受けるようになり、 n 値が増大したものと考えられる[3]。一方、水セメント比が0.4以下の場合には毛細管空隙がほとんどなく、微視的構造の変化が顕著ではなかったため、 n の変化がほとんど生じなかったと思われる。また、系が均質で寸法効果を示さないときの n の値は2であるので、シリカフュームの混入による内部組織の均質化が n の変化として現れていると考えられる。また、このように内部組織の特徴が圧痕の寸法効果に反映されることを考えると、微小硬度をbulkの特性と関連づけるためには、組織の特徴を反映する圧痕寸法となるような押し込み荷重を選択する必要があると考えられる[3]。

4.まとめ

セメントペーストの圧痕の寸法効果は微視的構造の特徴を反映し、比較的大きな径の毛細管空隙を含んだ不均質な系とシリカフュームの混入による均質な系では、寸法効果パラメータの変化の傾向は異なる。

参考文献

- [1]McColm, I.J., Ceramic Hardness, Plenum Press, New York, 1990.
- [2]Sargent, P.M. and Page, T.F., J. British Ceramic Society, Vol.26, pp.209-224, 1978.
- [3]Igarashi, S., Bentur, A. and Mindess, S., Advances in Cement Research (in press).

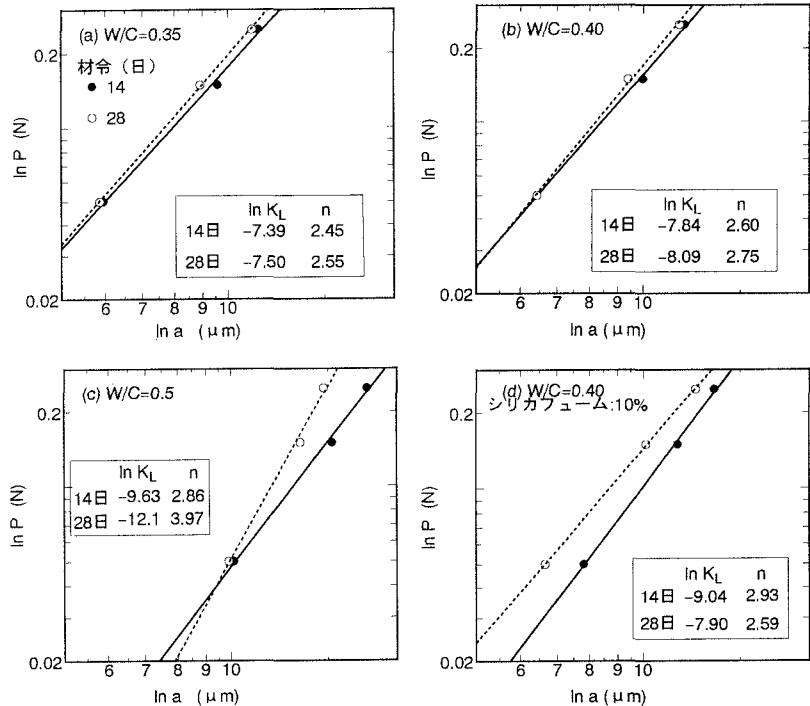


図-2 押し込み荷重と圧痕径の関係