

V-367

超微小硬度測定による石灰石とセメントとの境界性状

大阪セメント中央研究所	正員	王 鉄成
鳥 取 大 学 工 学 部	正員	西林新蔵
大阪セメント中央研究所	正員	中野錦一
大阪セメント中央研究所	正員	長岡誠一

1. まえがき

セメントの製造とコンクリートに関連した石灰石の利用には、石灰石の混合セメントおよびコンクリート用骨材として利用が挙げられている。河川砂利の涸渇に伴って石灰石砕石がコンクリートの骨材として大量に使用されている。石灰石骨材を使用したコンクリートの強度に関する研究によると、他種の骨材を用いたコンクリートよりも早強性があり[1]、蒸気養生を行うと長期の引張り強度がやや大きくなる[2] ことなどが報告されている。一方、省エネルギー、資源の有効利用や地域環境の問題に関連してセメントの一部を石灰石微粉末で置換する試みは1980年代後半から欧米で展開されてきている。

本研究は、石灰石利用の場合の強度と関連する石灰石とセメントとの反応および石灰石骨材とセメントペーストとの境界性状を明かにするために、石灰石と石英骨材を用いる場合の骨材と硬化セメントペーストとの微小境界域の硬度変化を比較検討し、石灰石の利用に有益な基礎的な情報を提示するものである。

2. 実験概要

使用したセメントは普通ポルトランドセメント(輝県, 425 #)、骨材は石灰石(陝西産, CaO 含有量52%, 比重2.73)と石英石(陝西産, SiO_2 含有量60%以上, 比重2.62)である。

硬度測定用の試験片の水セメント比は0.24, 0.32, 0.40, 0.54の4水準である。4×4×4cmの鋼製型枠中にセメントペーストを詰め、粒径20~10mmの石灰石および石英石をそれぞれ埋め込んだ後、20℃, R.H. 100 %で保存する。材令28日に供試体の平行性を保ちながらセメントペースト中の石灰石、石英石粒子の中央面に達するまで研磨する。試験片を肉眼で観察し、石灰石や石英石粒子と硬化セメントペーストとの境界域に一定間隔に上下左右の4カ所に超微小硬度計(H 1000, 最小荷重 1g, 計測単位0.5 μm)により硬度測定を行い、硬度値はその4つの平均値で表す。

3. 結果と考察

図-1に材令28日における石灰石とセメントペーストとの境界域で測定した超微小硬度の変化を示す。図より、石灰石表面からセメントペーストへ約100 μm の範囲における硬度は硬化セメントペーストと骨材との硬度より低く、すなわち凹形のような低硬度の区域(過渡域と称する)の存在することが認められた。この過渡域は水セメント比0.4以上になると、明らかにではなく、水セメント比の減少に伴って過渡域を表す凹形が顕著になる傾向がある。一方、石灰石表面から内部へ約50 μm の範囲では硬度は石灰石の平均硬度よりも低く、表面に近いほど硬度が低くなる。石灰石は高炉スラグなどと比較して一般には不活性であるが、セメント中ではセメント中のアルミネート(CaA)と反応してカルシウムモノカルボアルミネート水化物を生成しセメントの初期強度が大きくなり[3]、その反応によって石灰石骨材とセメントとの付着が強くなり、コンクリートの強度にも影響があると考えられる。

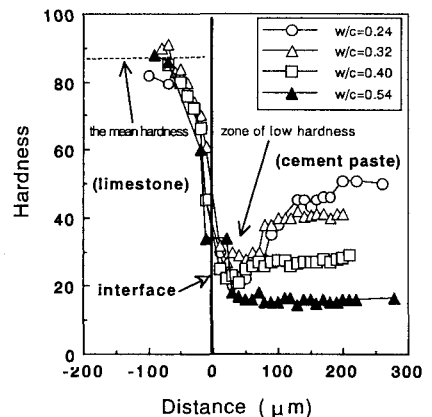


Fig. 1 Hardness in interfacial zone (limestone)

図-2は材令28日における石英石とセメントペーストとの境界域で測定した超微小硬度の変化を示すものである。図-2と比較すると石英石の場合も石灰石の場合と同じ、すなわち骨材表面からセメントペーストへの境界域で低硬度の凹形過渡域が存在するが、水セメント比の増加に伴ってその過渡域の凹形がなくなることが認められた。一方、石英石骨材の表面に硬度の低下が見られないことから、石英骨材とセメントペーストとの間に反応が生じないと考えられる。

以上のことから、骨材とセメントペーストは異なる物理化学的性質を示す無機材料であるので、セメント水和によってそれらの間の境界域でのセメントペースト側の強度が薄弱になり、その域を付着強度の薄弱域と称する。また、この薄弱域の付着強度は水和によって境界域に生成した水膜層の厚さと生成物の結晶に関連し、水セメント比によって異なると考えられる[4]。一方、骨材とセメントとの付着は骨材の種類によって異なり、石灰石骨材の場合には界面にある程度の反応が生じたので付着力が強くなる。また、コンクリートの強度はその界面付着力と密接に関係があるので、付着力を高め、水膜層の厚さを減少する方法（例、水セメント比を小さくし、セメントと弱反応性の骨材を使用する）によって強度の発現を有利にすることができると考えられる[4]。

図-3はシリコンで石灰石と石英骨材を浸漬した材令28日における骨材とセメントペーストとの境界域の超微小硬度の変化を示すものである。図より、骨材の表面にあるシリコンが骨材とセメントペーストの反応を阻んだので、図-1に示すように骨材とセメントペーストの境界域にある低硬度区が消失し、石灰石骨材の表面域に硬度の低減が見られない。このことから、骨材とセメントペーストとの間にある程度の反応が存在し、その反応は使用した骨材によって異なり、骨材とセメントペーストとの境界域の性質は骨材の種類、セメント水和および骨材とセメントの反応程度によって影響されると考えられる。

4. まとめ

骨材とセメントペーストと境界域には硬度の薄弱区が存在し、その硬度が水セメント比に伴って変化する。石灰石骨材の場合、界面反応によって骨材の表面域では硬度が低減することが認められた。骨材の種類によって界面反応による骨材とセメントとの付着が異なり、石灰石骨材の場合には反応によって界面付着力が強くなると考える。コンクリートの強度は硬化セメントペーストや骨材の強度に関連するだけでなく、骨材とセメントペーストとの付着および境界域の力学的性質にも関連し、骨材とセメントペーストとの界面付着には石灰石骨材の使用はより効果のあることが考えられる。

参考文献

- 1) 奥島正一、岡本公夫、藤岡正見：石灰石コンクリートに関する実験、セメント技術年報、pp.296～301, 1967.
- 2) 高島三郎、嶋谷宏文：蒸気養生した石灰石コンクリートの強度、セメント技術年報、pp.315～319, 1968.
- 3) 下林清一、岩瀬俊次：セメントの強さにおよぼす石灰石粉末の影響、セメント技術年報 pp.84～87, 1979.
- 4) 黄蘊元：混凝土力学研究中的一些基本問題、同濟大学, 1981.9

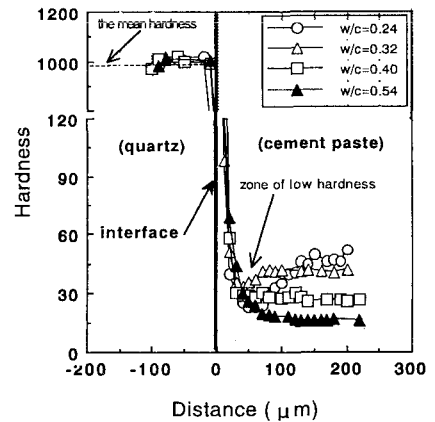


Fig. 2 Hardness in interfacial zone (quartz)

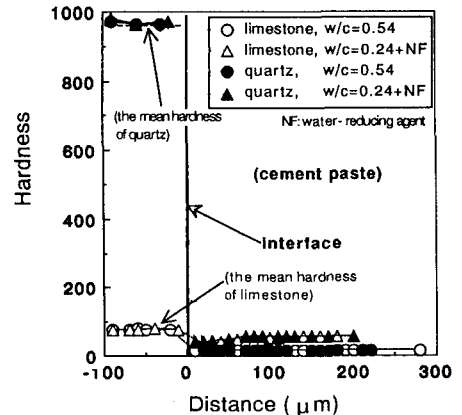


Fig. 3 Hardness in interfacial zone (by silicone)