

ナノインデントによる鋼材－セメントペースト界面の物性評価

北海道大学大学院 学生会員 ○小塚 寛太

北海道大学大学院 正会員 松本 浩嗣

清水建設（株） 正会員 齊藤 亮介

1. はじめに

鉄筋コンクリートの力学性状はコンクリートと鉄筋の付着力の影響を受ける。この付着挙動を左右する要因として鉄筋表面の平滑度やコンクリートの強度などがあげられるが、界面近傍の物性については明らかではない。鉄筋近傍にある遷移体¹⁾ (ITZ) についても付着メカニズムに影響を与えるとされている。したがって、鉄筋界面や周辺のコンクリートの物性を明らかにすることで、付着メカニズムの解明と改善方法の検討が可能になると考えられる。本研究では、微細領域を測定するためナノインデントを用いて微小硬さを測定し、硬さと強度の相関から鉄筋周辺のセメントペーストの強度分布を検討した。また、既往の研究²⁾ により研磨による界面の掘削が指摘されているため、高性能マイクロスコップを用いてナノインデントの測定に適した界面の状態について検討した。

2. 実験概要

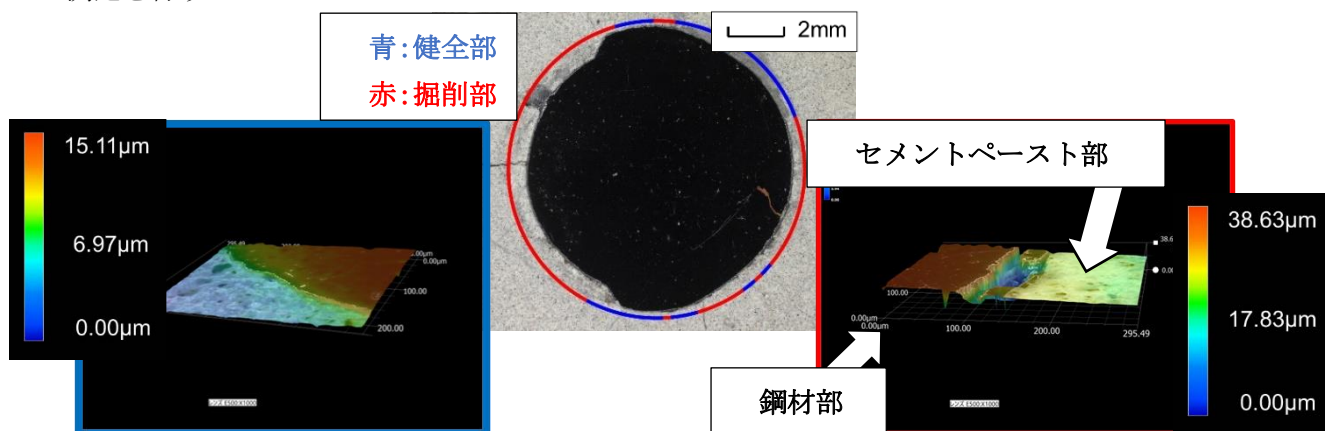
2.1 使用機器と用いる指標について

ナノインデントとは硬さ試験機的一种で、サンプル表面に圧子押し当て、その押し込み深さと押し込み圧から「微小硬さ」を算出できる装置である。本研究では、微小硬さ指標としてマルテンズ硬さ $HM[N/mm^2]$ を用いた。

2.2 供試体の作製

本研究では、直径 45 mm、高さ 100 mm の鉄筋－セメントペーストの円柱供試体を W/C=40%、50%、60% となるように 3 種類作成した。乾燥によるひび割れを防ぐため収縮低減剤を用いた。

本研究では微小領域を取り扱うため、表面粗さを小さくすることと界面の掘削を最小限にするために供試体を切断後に研磨を行った。マイクロスコップで撮影した画像より、鋼材－セメントペースト界面の掘削は測定する位置により程度が異なり、撮影画像からおおよそその掘削の大きさを予測することができる。図－1（左）では掘削はほとんどないといえるが、図－1（右）のような箇所では大きな界面の掘削が発生している。そこで本研究では、ナノインデントの測定において事前におおよそその界面の状態を予測して適切な場所を選択して測定を行うこととした。



図－1 マイクロスコップによる界面撮影図

キーワード ナノインデントーション, 界面, 硬さ, 強度, 物性

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目
北海道大学 大学院工学院 TEL:011-706-6219

3. 実験結果と考察

3.1 鋼材・セメントペーストの硬さ

鋼材部分 100 点にナノインデンテーションを行い, HM 硬度を測定した. 鋼材部分の平均 HM 硬度は $2701 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ であった. すべての測定は, 予備実験により適切であると思われる測定間隔と押し込み最大荷重に統一して測定した. 同様にセメントペースト部分についてナノインデンテーションを行い, それぞれの W/C に対して 100 点の平均の HM 硬度を測定した. セメントは不均質材料であるため測定される硬度にはばらつきが大きい. W/C = 40% の平均 HM 硬度は $1381 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ であった.

3.2 硬さと強度の関係

作製したセメントペーストに対し圧縮強度試験を行い, 圧縮強度と C/W との関係式を求めた圧縮強度-HM 硬度関係を用いることで, HM 硬度を圧縮強度に変換する事が可能であると考えられる.

図-2 に求めた関係式を示す.

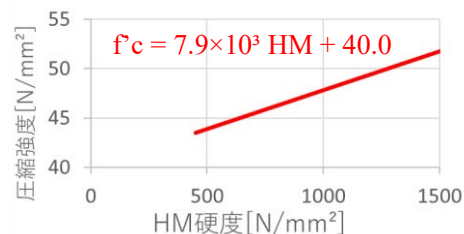


図-2 HM 硬度-圧縮強度変換式

3.3 界面近傍の硬さ分布

界面に垂直な方向に $300 [\mu\text{m}]$, 水平な方向に $100 [\mu\text{m}]$ の範囲で界面近傍での測定を行った. 図-3 には W/C = 40% の測定開始点からの距離が同じ箇所の HM 硬度を平均して得た分布図を示す. 本研究の範囲では, 界面付近のセメントペーストの脆弱領域は確認できなかった. 図-4 に, 3.2 で提案した手法を用いて得た界面付近の推定圧縮強度の二次元分布図を示す. 本手法を用いることにより, 界面近傍の力学特性の分布を大まかに評価することができる.

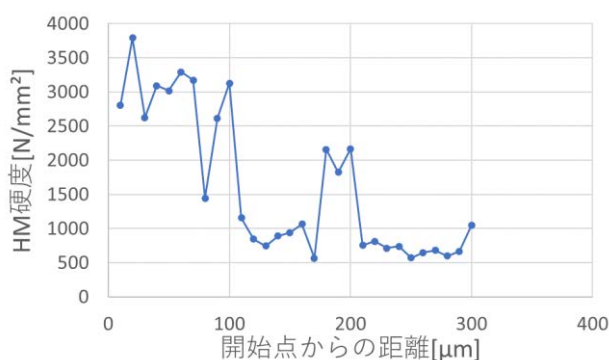


図-3 界面近傍の HM 硬度分布

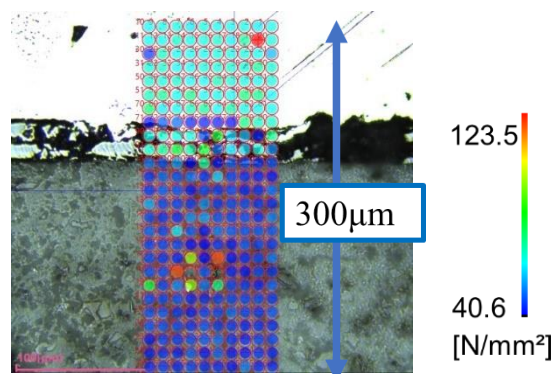


図-4 界面近傍の推定圧縮強度分布図

4. 結論

- 1) 研磨後の界面の状態は, ナノインデンテーションの結果に大きく影響する. 測定に適した界面を事前に選定する必要がある.
- 2) セメントペーストのセメント水比と圧縮強度, HM 硬度に正の相関があることに基づき, ナノインデンテーションの結果を強度分布に変換する手法を提案した.
- 3) 本研究で対象とした鋼材周囲の界面に関しては, 顕著な脆弱領域は確認されなかった. 今後測定条件を検討し, 更なるデータの蓄積が必要と考えられる.

参考文献

- 1) Nobuaki O, Makoto H, Nathaniel B. D. and Tarek U. M.: Experimental study on interfacial transition zones in reinforced concrete, J. Materials, Conc. Struct., Pavement, JSCE, No. 592/V-39, pp155-167, 1998.
- 2) 藤原大地: ナノインデンターを活用したコンクリート中の極微細領域の力学特性評価, 北海道大学大学院修士論文, 2022