

川田建設㈱	正会員	○山下哲央
徳島大学工学部	正会員	上田隆雄
京都大学大学院	フェロー	宮川豊章
徳島大学工学部	フェロー	水口裕之

1. はじめに

電気化学的手法の1つであるデサリネーションは、コンクリート中の鋼材腐食の原因となる Cl^- の除去を目的とし、劣化したコンクリート構造物の補修工法として有効な方法である。通電中は、コンクリート中の鉄筋を陰極とし、コンクリート表面に設置した陽極との間に直流電流が流されることにより、 Cl^- や OH^- などの陰イオンは陽極側に移動し、 Na^+ や K^+ などの陽イオンは陰極側に移動する。しかし PC 構造物にデサリネーションを適用する場合、陰極となる PC 鋼材近傍でのカソード反応により発生した水素による PC 鋼材の水素脆化が懸念される。そこで本研究では、あらかじめ塩化物を混入したプレテンション型 PC 供試体にデサリネーションを施した時の PC 鋼材の水素脆化挙動について鋼材種類を要因として検討した。

2. 実験概要

コンクリート中の Cl^- 量は 8.0kg/m^3 とした。PC 鋼材は、冷間加工材として $\phi 9\text{mm}$ の PC 鋼線、熱処理材として $\phi 13\text{mm}$ の B 種 1 号および C 種 1 号 PC 鋼棒の計 3 種類を用い、鋼材の緊張力としては、各鋼材引張強度の 60% を採用した。緊張した PC 鋼材の周囲にコンクリートを打設し、4 週間の湿布養生を行った後に通電処理を行った。電流密度は、鉄筋表面に対して 5.0 A/m^2 とし、通電期間は 8 週間とした。通電は両側面からの 2 面通電とし、その他の面はエポキシ樹脂で絶縁した。電解液として飽和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を用い、無処理の供試体も通電期間中は電解液中に保存した。

処理後にコンクリートから PC 鋼材をはつりだし、低ひずみ速度引張試験と吸蔵水素量測定および破断面の SEM 観察を行った。低ひずみ速度引張試験時のひずみ速度は、 $1.6 \times 10^{-5} / \text{sec}$ で一定とし、引張荷重、PC 鋼材のひずみと鋼材破断後の絞り、伸びを測定した。吸蔵水素量の測定は、ガスクロマトグラフを用いて、昇温式の水素分析により行った。また、通電終了後に一定期間（1 週間、1 ヶ月間）静置した PC 供試体についても、同様の試験を行った。なお、静置条件は温度 20°C 、相対湿度 60% の恒温恒湿状態とした。

3. 実験結果および考察

3. 1 低ひずみ速度引張試験

緊張力 60% で 8 週間通電処理を行った後、はつりだした鋼材に対して行った低ひずみ速度引張試験より得られた、冷間加工材における応力-ひずみ曲線を図-1、製造時鋼材の場合を 1 としたときの鋼材破断時における絞りを図-2 また強度と絞りの関係を図-3 に示す。図-1 によると、降伏点までの弾性領域および荷重降下を開始するまでの塑性領域において、通電の影響は非常に小さい。通電処理の影響が明確に現れるのは、荷重が降下を開始してから破断するまでの領域であり、荷重降下開始時のひずみ、破断強度、破断ひずみといった終局段階の特性値に変化が見られる。すなわち、通電処理を行った供試体は製造時の鋼材に比べて、破断強度は大きく、破断ひずみは小さくなっている。これらの現象は PC 鋼材の水素脆化に起因しているものと考えられる。同様の傾向は B 種および C 種の熱処理材についても見られた。また図-2 によると、冷間加工材の場合、B 種および C 種の

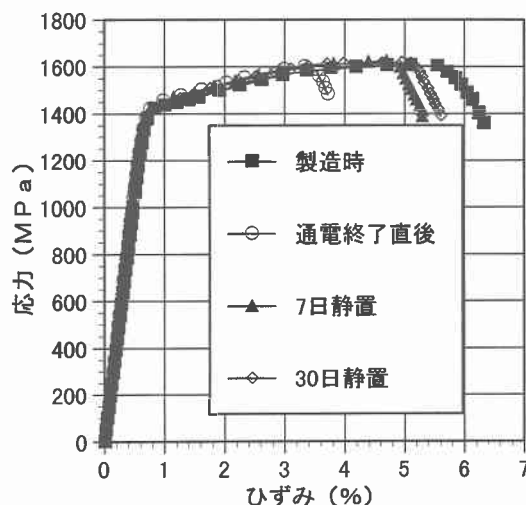


図-1 応力ひずみ関係(冷間加工材)

熱処理材の場合と比較して通電直後の絞り低下が大きく、より脆性的な破断状況を示している。これに対して、処理後の静置期間が長くなるにしたがって、どの鋼材種類においても絞りが回復し水素脆化程度は緩和されている。図-3に示すように、鋼材の引張強度と通電処理による絞り低下程度の間には線形関係が見られる。このような傾向は、一般に強度の高い鋼材の方が遅れ破壊感受性が高い、と言われていることと一致する。また一般に、熱処理材よりも冷間加工材の方が、遅れ破壊感受性が低いと言われているが、今回用いた鋼材の場合、製造過程の違いよりも、鋼材強度の違いの方が水素脆化に強く関係したと考えられる。

3. 2 吸蔵水素量

吸蔵水素量測定により得られた結果を図-3に示す。図よりそれぞれのグラフの2か所に放出ピークが見られる。前者を第1ピーク、後者を第2ピークとすると、既往の研究より、第1ピークが常温で拡散可能な拡散性水素であり、主として水素脆化の原因となる水素であると言える。冷間加工材の第1ピークは、B種およびC種の熱処理材より低温側で発生しており、より不安定な水素と考えられる。また、冷間加工材の方が熱処理材の場合と比較して第1ピークでの放出水素量が少ない。つまり、冷間加工材の製造過程で導入された高密度転位は、有効なトラップサイトとなり拡散性水素の量は少なくなるが、この拡散性水素は熱処理材の場合より不安定な水素であり、このため今回の実験では、冷間加工材がB種およびC種の熱処理材と比較して、より脆性的な挙動を示したと考えられる。

3. 3 外観観察およびSEM観察

通電処理後、コンクリートからはつりだしたPC鋼材に対して、外観観察および破断面のSEM観察を行った。この結果、無通電の場合は、鋼材表面が腐食生成物に覆われていたのに対し、通電処理を行ったものには腐食生成物は見られず、デサリネーションによる防食効果が確認された。またSEM観察を行った結果、通電処理を行った供試体では、延性破壊を示すディンプル破面の他に、一部に水素脆化による破壊様式に特徴的な擬へき開破面が見られ、通電処理による水素脆化が確認された。

4. まとめ

今回用いた鋼材では鋼材強度の違い、拡散性水素の不安定さという面から、冷間加工材が熱処理材に比べ厳しい水素脆化程度を示した。また熱処理材、冷間加工材ともに、通電期間中および処理後数週間程度において、水素脆化に起因する遅れ破壊の可能性はあるが、比較的短期間でこのような状況は改善された。

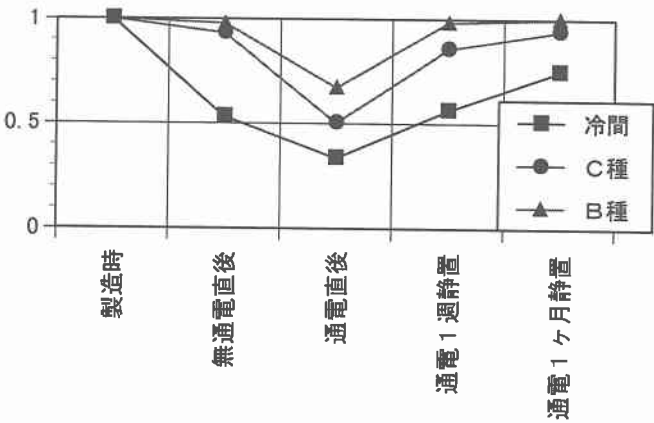


図-2 製造時を1とした場合の絞り

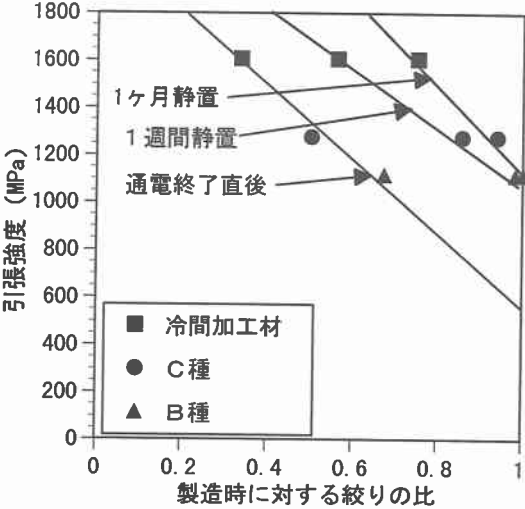


図-3 強度と絞りの関係

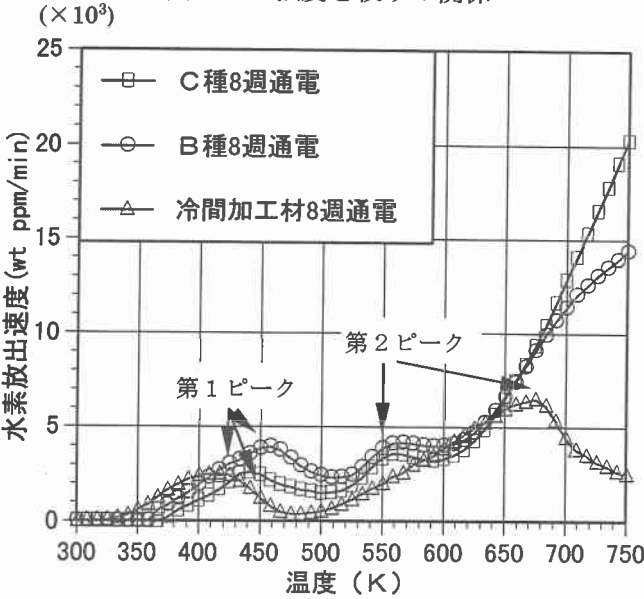


図-4 吸蔵水素量(鋼材種類間比較)