

V-12 塩水を噴霧した PC 鋼材の応力腐食割れに関する検討

扶桑建設工業（株）	正会員	○酒井 和也
徳島大学工学部	正会員	上田 隆雄
高周波熱錬（株）	正会員	溝口 茂
電気化学工業（株）	正会員	芦田 公伸

1. はじめに

塩害などの厳しい環境条件下において、P C 構造物中の P C 鋼材が腐食すると、P C 鋼材にあらかじめ緊張力が付加されていることから、腐食孔を起点とする応力腐食割れや腐食反応で発生する水素に起因する水素脆化割れにより、P C 鋼材が遅れ破壊的に破断する可能性が発生する。

そこで本研究では、塩水を噴霧することにより孔食を伴う腐食を発生させた P C 鋼材を用いて、低ひずみ速度引張試験および吸蔵水素量測定を行うことにより、遅れ破壊感受性を応力腐食と水素脆化の両面から評価・検討を行った。

2. 実験概要

実験に用いた P C 鋼材は C 種 1 号とし、比較用に R C 用鉄筋（S R 235）も用いた。これらの鋼材を 20℃ の恒温室内に静置し、1 週間に 2 回、5.0% の NaCl 溶液を噴霧することで腐食を促進させた。塩水噴霧期間は 1 ヶ月および 3 ヶ月の 2 水準とした。なお、P C 鋼材は応力腐食の影響を検討するために、無緊張状態の鋼材と P C 鋼材引張強度の 60% の緊張力を導入した鋼材を用意した。

所定の促進腐食終了後に、鋼材の遅れ破壊感受性を評価する目的で、鋼材の吸蔵水素量測定および低ひずみ速度引張試験を行った。また、塩水噴霧による腐食程度を評価するために、重量減少率および孔食深さの測定も併せて行った。

3. 腐食程度の評価

塩水噴霧による各種鋼材の重量減少率を図 1 に、最大孔食深さの推定結果を図 2 に示す。本研究では、極値統計の考え方により、腐食部分の最大孔食深さを推定した。図 1 によると、緊張力を与えた P C 鋼材は、無緊張の場合と比較して、重量減少率の増加程度が若干大きくなっている。また、図 2 においても緊張力を与えた鋼材の方が無緊張の場合よりも孔食深さが大きくなっている。これより、応力の影響で腐食反応自体が活性化したことが考えられる。

また、1 ヶ月の塩水噴霧による R C 用鉄筋の重量減少率と孔食深さは P C 鋼材の場合と比較して小さく、3 ヶ月の塩水噴霧では R C 用鉄筋の重量減少率と孔食深さが大きく増加している。これは、R C 用鉄筋は鋼塊として一般にリムド鋼を使用し、P C 鋼材はキルド鋼を使用していることが関係している可能性がある。リムド鋼は脱酸をわずかにを行い、内質には不純物を多く含むが、鋼塊表面部分には不純物の少ないリム層が形成される。これに対してキルド鋼は脱酸を十分に行い、内部には気泡が全くないが、表面肌はリムド鋼に劣ると言われている。この様な違いにより、R C 用鉄筋は初期の腐食速度は比較的小さいが、その後大きな腐食速度を示したものと考えられる。

4. 鋼材の水素吸蔵状況

3 ヶ月の塩水噴霧を行った各鋼材の吸蔵水素量測定により得られた水

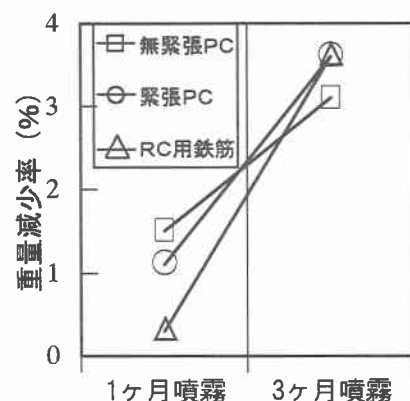


図 1 各鋼材の重量減少率

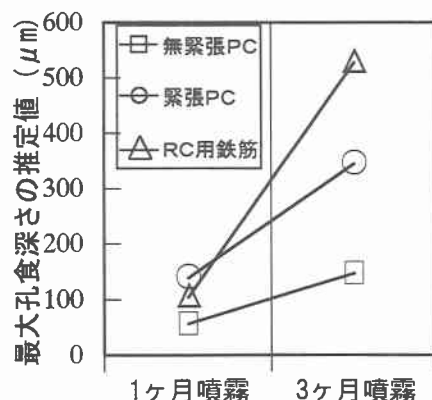


図 2 最大孔食深さの推定結果

素放出曲線を図3に示す。図3において特に顕著な水素が検出されているのは、R C用鉄筋と緊張力を与えたP C鋼材である。R C用鉄筋は初期状態で既に内部組織にマイクロボイドのようなトラップサイトをP C鋼材よりも多く含んでいることが原因と考えられる。この場合、塩水噴霧期間が長くなっても水素放出量に顕著な違いは認められない。P C鋼材は、初期状態ではR C用鉄筋よりも純度が高く、無緊張状態では水素吸蔵量は小さいが、緊張力を与えることにより、鋼材に新たなひずみが導入され、これが水素のトラップサイトとなっていることが考えられる。また、3ヶ月の塩水噴霧を行った緊張P C鋼材で放出水素量の著しい増加が認められる。これは、図2に示したように、応力腐食により孔食深さが増大するに従って腐食部分への応力集中が進み、ひずみ量がさらに増大することによって新たなトラップサイトが形成されたことによるものと考えられる。

ここで、温度が450K付近に最大点をとるピークは、水素脆化の直接的な原因となる拡散性水素であることが報告されているが、図3に示されている水素は550Kから600K付近が最大点となっており、比較的拡散性の小さい水素であると考えられる。よって、この場合、水素脆化が直接的に遅れ破壊に与える影響は小さいと考えられる。

5. 低ひずみ速度引張試験

低ひずみ速度引張試験から得られたP C鋼材の応力-ひずみ関係を図4に、R C用鉄筋の応力-ひずみ曲線を図5に示す。図4によると、1ヶ月の塩水噴霧を行ったP C鋼材は製造時のP C鋼材とほぼ同じ曲線となっており、遅れ破壊の可能性は小さいと言える。3ヶ月の塩水噴霧を行った場合、緊張力を与えたP C鋼材では荷重降下の開始するひずみが小さくなっている。図5に示したR C鉄筋の場合も、塩水噴霧による腐食が進行するにつれて、荷重降下の開始するひずみが小さくなっていることがわかる。このような変化が見られる鋼材は、図2や図3に示したように最大孔食深さや吸蔵水素量が比較的大きいものであることから、鋼材腐食の進行による遅れ破壊感受性が変化していると考えられるが、破断時の荷重降下程度は製造時と同程度であり、遅れ破壊の感受性が顕著に高くなったとは言えない。

塩水噴霧による各鋼材破断時の絞りの変化を図6に示す。これによると、腐食程度の大きかった、R C用鉄筋と緊張P C鋼材は塩水噴霧を行うことにより、製造時より絞りが低下している。これにより、遅れ破壊の感受性は腐食により若干高くなっていると判断できる。

6. まとめ

- ①緊張力を与えたP C鋼材は無緊張の場合と比較して、応力腐食による遅れ破壊感受性が若干高くなっているものと推定された。
- ②腐食反応による拡散性水素の吸蔵は認められなかったため、水素脆化が直接的な原因となる遅れ破壊の危険性は現時点では小さいものと判断された。

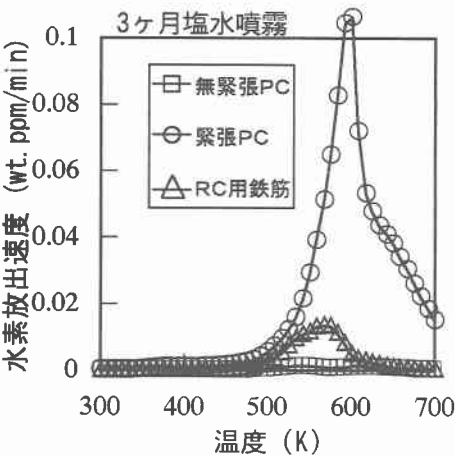


図3 水素放出曲線

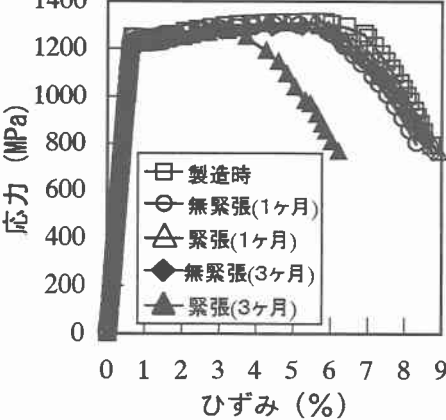


図4 応力ひずみ曲線(P C鋼材)

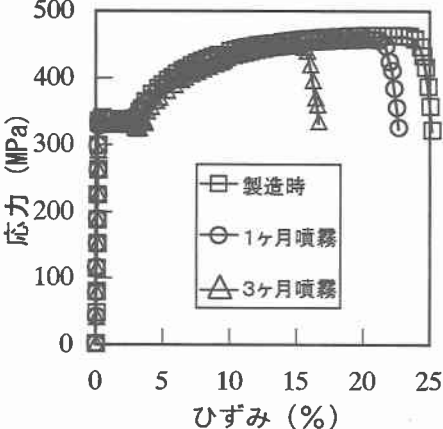


図5 応力ひずみ曲線(R C用鉄筋)

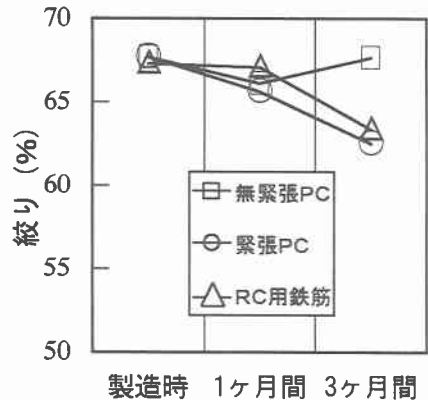


図6 絞りと塩水噴霧期間の関係