

デサリネーションによるP C鋼材 の水素吸蔵特性

芦田公伸¹・上田隆雄²・溝口 茂³・宮川豊章⁴

¹正会員 電気化学工業(株) セメント特混研究所(〒949-0393 新潟県西頸城郡青海町 青海工場)

²正会員 工修 徳島大学助手 工学部建設工学科(〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1)

³正会員 高周波熱錬(株) 製品事業部(〒254-0013 平塚市田村 5893 平塚工場)

⁴フェロー 工博 京都大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

コンクリートの塩害劣化が問題視される中、電気化学的に脱塩を行う工法、すなわち、デサリネーションが有望な補修工法として注目されている。デサリネーションでは、コンクリート中の鋼材がカソードとして作用し、しかも、その電位が水素発生電位より卑となるため、鋼材表面での水素の発生が考えられる。そのため、P C鋼材の水素脆化への危惧から、P C構造物への適用が見送られてきた。本研究では、デサリネーションをP C構造物へ適用したときのP C鋼材への影響について、P C鋼材中に吸蔵される水素量と鋼材の破断面について検討を行った。

Key Words: desalination, electrochemical technique, hydrogen embrittlement, hydrogen thermal analysis, diffusible hydrogen, prestressed concrete

1. はじめに

コンクリート構造は、元来、コンクリートと鋼の長所を組み合わせ、それぞれの短所を補完し合うために、耐久性に富む構造である。しかし、近年、塩害により比較的早期に劣化現象が現れ、問題視される構造物がしばしば見受けられるようになった。

デサリネーションは、コンクリート中の鋼材を陰極とし、コンクリート表面付近に陽極を仮設し、両極間に直流電流を一定期間のみ印加することにより、コンクリート中の塩化物イオンを鋼材付近からコンクリート表面へ電気泳動させ、コンクリート中の含有塩分量を大幅に低減させる電気化学的手法である。

鉄筋コンクリート(RC)構造物へのデサリネーションの適用は年々増加しており、コンクリート中の塩分を大幅に低減し、鉄筋の電位も回復して、防食状態に保つという効果は、実構造物でも確認されている¹⁾。一方、プレストレストコンクリート(PC)構造物への適用においては、陰極において発生する水素により、P C鋼材の水素脆化などが懸念され、実構造物での適用には未だ至っていない。

本研究では、コンクリート中に塩化物を含むプレ

テンション型P C供試体にデサリネーションを施し、デサリネーションによって発生する水素のP C鋼材への吸蔵量と種類、および、P C鋼材の破断面について、基礎的な検討を行うことにした。

2. 実験概要

実験は、デサリネーション適用後のP C供試体から取り出したP C鋼材の熱分析による吸蔵水素量の測定、および、破断後の破面の観察からなる。これらの概要をTable 1に示す。なお、本研究で用いる電流密度は、P C鋼材表面積に対する値とした。

(1) 供試体の作製および通電方法

a) コンクリート配合

実験に用いたコンクリートの示方配合をTable 2に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを用い、練り混ぜ時に混入する塩化物は精製塩(NaCl 純度99%)を用いて、混練り水に完全に溶解した。

φ10cm×20cmの円柱供試体による標準養生の28日圧縮強度は平均43 N/mm²であった。コンクリート中の塩化物量は比較的厳しい環境状態を想定し

Table 1 Outline of test program

Type of Tendon	Prestressing Force(%)	Current Density (A/m ²)	Period of Treatment (Weeks)	Period after treatment	
B type	0	0.0	8	0	
	50	0.0			
		5.0			
	60	0.0	8	0	
		5.0		0,3 days 7 days, 1 month, 6 months 1 year	
C type	0	0.0	8	0	
	50	0.0			
		5.0			
	60	0.0	4	0	
		5.0	8		
			4	0,3 days, 7 days, 1 month, 6 months 1 year	
			8		
			10.0	8	0
			15.0	8	0
			CD wire	60	0.0
5.0		8		0,7 days, 1 month	

Table 2 Mix proportion of concrete

W/C (%)	s/a (%)	Gmax (mm)	Unit mass (kg/m ³)					
			W	C	S	G	AEA	Cl
39	43	25	169	434	731	982	4.67	8.0

Table 3 Mechanical properties of prestressing tendons

Type of Bar	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
B type(SBPR 930/1080)	1047	1115	10
C type(SBPR1080/1230)	1228	1273	8
CD wire(SWPD1L)	1415	1603	6.5

Table 4 Chemical compositions of prestressing tendons(%)

Type of Bar	C	Si	Mn	P	S	Cu
B type(SBPR 930/1080)	0.35	1.74	0.74	0.016	0.006	0.01
C type(SBPR1080/1230)	0.35	1.74	0.74	0.016	0.006	0.01
CD wire(SWPD1L)	0.82	0.24	0.75	0.012	0.008	0.01

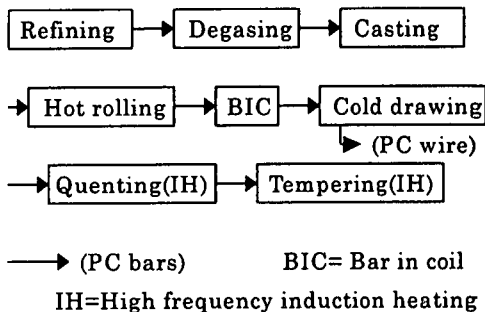


Fig.1 Manufacturing process of prestressing tendons

て、8.0 kg/m³とした。

b) PC供試体

PC供試体のコンクリート部分は、15×15×40cmの角柱とし、断面の中心部分にプレテンション方式で緊張したPC鋼材を有する形状とした。なお、コンクリートのクリープと乾燥収縮によるプレストレスの損失を防止するために、コンクリートへのプレストレスの解放は行わず、Fig.2に示す十分な剛性を持つ構造用形鋼を用いて組み立てた緊張枠(Steel frame)にて、PC鋼材に導入したプレストレスを支持した。

PC鋼材は高周波誘導加熱焼入れ焼戻し加工を施したPC鋼棒2種類、および、冷間引抜加工を施した異形PC鋼線1種類の計3種類とした。PC鋼棒はφ13mmのB種1号(B typeと称す)とC種1号(C typeと称す)を、PC鋼線はφ9mmのインデント加工の異形鋼線(CD wireと称す)を用いた。PC鋼材の機械的性質、および、化学組成をTable 3とTable 4に、製造方法の概要をFig.1に示す。

PC鋼材の緊張力は、実構造物の有効プレストレス力を考慮して、各鋼材の引張強度の50%、および、60%とした。但し、鋼材のレラクゼーションをPC鋼棒1.5%、PC鋼線3%とし、それぞれ割増しして緊張した。なお、比較用として、無緊張、および、塩化物無混入の供試体も作製した。PC供試体の概略図をFig.2に示す。

c) 通電処理および通電完了後の静置方法

PC供試体は、所定の荷重で緊張したPC鋼材の周囲にコンクリートを打設し、4週間の湿空養生を行った後、チタンメッシュ電極の陽極を取り付け、飽和水酸化カルシウム水溶液中で直流電流の通電処理を実施した(Fig.2)。

通常のデサリネーションの電流密度は、コンクリート表面積当たり1.0 A/m²であるので、陰極となる鋼材表面積当たりでは2.0~3.0 A/m²と考えられる。本実験では、通常より厳しい条件として、電流密度をPC鋼材表面積当たり5.0, 10.0, 15.0 A/m²とし、通電処理期間を4, 8週間とした(Table 1)。

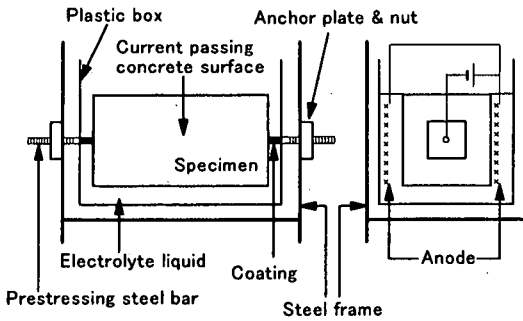


Fig. 2 Specimen and experimental set-up for desalination

通電方法は、P C供試体の両側面からの2面通電とし、通電面以外はエポキシ樹脂で電気的に絶縁処理を施した。なお、無通電処理(電流密度=0.0 A/m²)のP C供試体も、所定の期間飽和硫酸化カルシウム水溶液中に保存した。また、通電処理終了後の経時変化を調べるP C供試体は、P C鋼材の緊張力を保持した状態で、20°C-60%RHの恒温恒湿室に、所定の期間(3日、7日、1ヶ月、6ヶ月、1年間)静置した。

所定の通電処理終了後、および、通電処理後の静置期間経過後に、P C供試体からP C鋼材をはつり出し、各種試験を実施した。なお、試験を実施するまでの時間に、通電処理によってP C鋼材に吸蔵された水素の大気中への拡散を防止するために、はつり出したP C鋼材は直ちにドライアイス雰囲気中に保管し、冷凍保存した。

(2)吸蔵水素量の測定

水素がP C鋼材に与える影響で最も懸念されるのは、遅れ破壊感受性が增大することである。この遅れ破壊感受性は、P C鋼材中に吸蔵される水素量、特に、400K近傍にピークを有する拡散性水素量に支配される²⁾。本研究では、実際に近い通電処理状態を再現するため、コンクリート疑似溶液ではなく、塩化物を含有するコンクリート中に埋設されたP C鋼材に対して通電処理を行い、P C鋼材に水素を供給し、所定の通電処理、および、静置期間終了後、P C供試体からはつり出したP C鋼材に対して、熱分析法による吸蔵水素量の測定を実施した。

分析法の概略をFig.3に示す。はつり出したP C鋼材を冷凍状態にて、長さ5cmに切断して分析用試料とした。この試料をArガス(純度99.999%)雰囲気中において、1時間当たり100K/Hrの昇温速度にて加熱し、放出された水素量を5分間隔で、ガスクロマトグラフによって水素ガス濃度を測定した。なお、測定範囲は、拡散性水素量が十分に把握できる

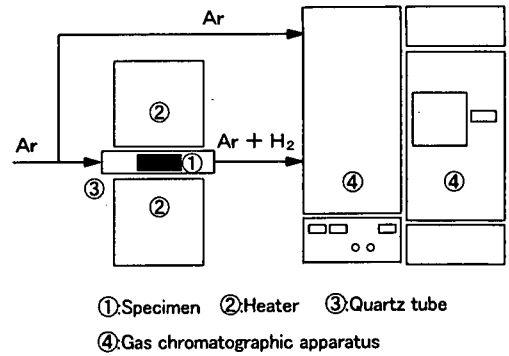


Fig. 3 Schematic diagram of hydrogen thermal analysis

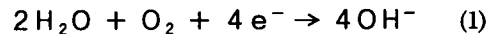
領域である室温から700K(427°C)までとした。

(3)破断面の観察

P C供試体からはつり出した冷凍状態のP C鋼材を水道水流水中に1分間浸して解凍し、直ちに、低ひずみ速度引張試験にて破断した後、破断面を走査式電子顕微鏡にて観察した。

3. 水素の発生機構

デサリネーション適用時に陰極となるP C鋼材表面では、次の反応が生じていると考えられる。



式(1)は陰極近傍に十分な酸素が存在する場合であり、その他の場合は式(2)の反応が卓越する。

水素発生電位は、Nernst式(式(3))より、計算される平衡電位Eより卑な値である。

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \cdot \ln \left(\frac{a_{\text{O}}}{a_{\text{R}}} \right) \\ = -316 - 59.16 \cdot \text{pH} \quad [\text{mV vs CSE}] \quad (3)$$

但し、E⁰は標準水素電極電位、Rは気体定数、Tは絶対温度、nは電荷数、Fはファラデー定数、a₀は酸化系活量、a_Rは還元系活量である。

しかし、実際には、温度やコンクリート中の鋼材の表面状態により、水素発生電位が変化するのが一般的であるが、最近の研究によると、この変化分を無視して、平衡電位を水素発生電位と見なすことの妥当性が確認されている³⁾。

一般に、コンクリート中の間隙水のpH値は約12.5であるので、式(3)を用いて計算される平衡電位は-1056(mV vs CSE)となる。また、デサリネーション

オンにより、陰極はカソード反応で OH^- が生成し、pH 値が上昇する⁹⁾ので、水素発生電位も卑な方向へ移行し、pH=13.0では、平衡電位は-1085 (mV vs CSE)と変化する。一方、デサリネーション処理中の自然電位は、-1000~-1300(mV vs CSE)の範囲を変化していると報告されている⁹⁾ので、Nernst 式より求められる平衡電位より卑な領域であり、デサリネーション処理中には水素の発生があるものと考えられる。

式(2)の反応により、水素が発生すると、この水素はP C鋼材の結晶格子中を拡散し、転位、微細空隙、粒界、介在物界面などのトラップサイト^{6), 7)}に集まる。Chooらは、鋼材の熱分析の結果、470K以下にピークを持つ水素は転位によるものであり、570K付近にピークを持つ水素は微細空隙に集積したものであると報告している⁹⁾。また、鈴木らは、鋼材に吸蔵された水素の中で、転位、微細空隙、粒界などにトラップされた水素は、470K付近にピークを持ち、常温~500Kで検出可能な拡散性水素と呼ばれ、水素脆化による遅れ破壊の直接的な原因であるとし、523K付近にピークを持つ水素は、非拡散性水素と呼ばれ、水素脆化に影響を与えない安定な水素であると報告している⁹⁾。

4. 吸蔵水素量

(1) P C鋼棒

a) 処理終了直後

デサリネーション処理を完了した直後のP C鋼棒(B type, C type)の吸蔵水素量測定結果を Fig.4 に、さらに、水素脆化の直接原因である拡散性水素を常温~500Kの積算量として Table 5 に示す。なお、Fig.4 の縦軸は昇温時間1分間あたりに検出される水素量(wt ppm/min)であり、OriginalはP C鋼棒製造時の状態を示す。

Originalでは、B type, C typeともに、拡散性水素は全く検出されない。塩分を含むコンクリートに埋設された無通電処理(0A/m²)の供試体はB type, C typeともに、拡散性水素のピークは検出されないが、500K以上にピークを有する水素は増加している。一方、5A/m²の通電処理を行った供試体では、400~500Kにピークを有する拡散性水素量の増加が認められる。C typeの拡散性水素量では、4週通電より、8週通電の方が増加しており、P C鋼材に吸蔵される拡散性水素量は通電時間の影響を受けると考えられる。また、P C鋼材の緊張力については、B typeの50%と60%の結果から、顕著な差が見られない。鈴木らは、鋼材に塑性ひずみが導入された

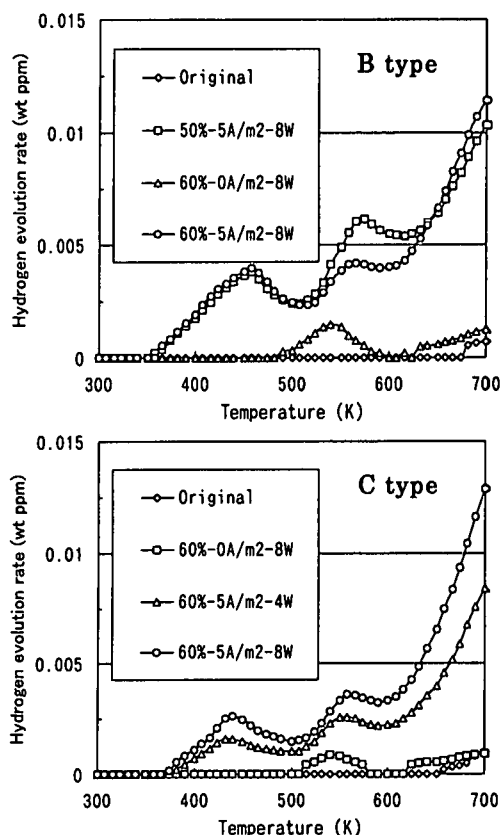


Fig.4 Hydrogen evolution curve during Desalination

Table 5 The cumulative amount of diffusible hydrogen just after Desalination

Type of bar	Treatment	Diffusible hydrogen (wt ppm)
B	Original	0.00
	50%,5A/m ² ,8weeks	0.21
	60%,0A/m ² ,8weeks	0.00
	60%,5A/m ² ,8weeks	0.22
C	Original	0.00
	60%,0A/m ² ,8weeks	0.00
	60%,5A/m ² ,4weeks	0.08
	60%,5A/m ² ,8weeks	0.13

場合、新しいトラップサイトが生成され、拡散性水素量が増加することを報告⁹⁾しており、今回の試験で採用した緊張力の様に道路橋示方書に従った場合、P C鋼材の弾性領域を前提とするために、緊張力の影響は表れなかったと考えられる。

b) 処理後の静置期間

電流密度 5A/m²、通電処理期間 8 週間のデサリネーションにおいて、処理終了後の静置期間 1 年間ま

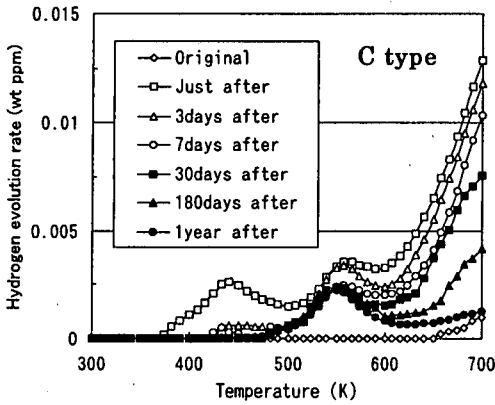
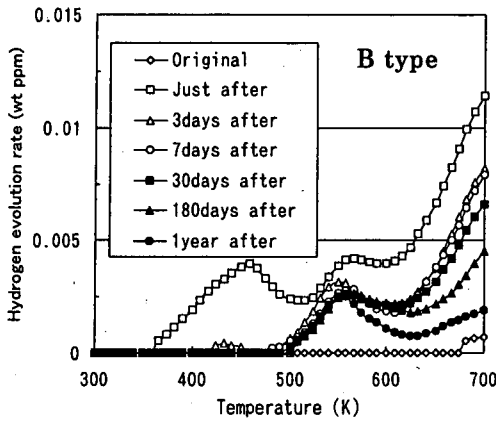


Fig.5 Hydrogen evolution curve(PC bars)

Table 6 The cumulative amount of diffusible hydrogen with elapsed time after Desalination

Type of bar	Keeping time after Desalination	Diffusible Hydrogen (wt ppm)
B	Original	0.00
	Just after	0.22
	3 days after	0.01
	7 days after	0.00
	30 days after	0.00
	180 days after	0.00
	1 year after	0.00
C	Original	0.00
	Just after	0.13
	3 days after	0.02
	7 days after	0.01
	30 days after	0.00
	180 days after	0.00
	1 year after	0.00

での吸蔵水素量の変化を Fig.5 に、その時点における拡散性水素の積算量を Table 6 に示す。通電処理

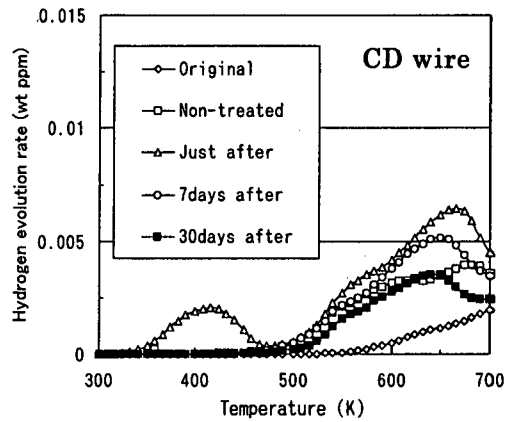


Fig.6 Hydrogen evolution curve(CD wire)

Table 7 The cumulative amount of diffusible hydrogen

Type of bar	Keeping time after Desalination	Diffusible Hydrogen (wt ppm)
CD wire	Original	0.00
	Non-treated	0.01
	Just after	0.11
	7 days after	0.00
	30 days after	0.00

終了後、B type、C type とともに 400~500K にピークを有する水素が急速に減少し、処理終了後 3~7 日でほぼ消滅している。また、その後 1 年までの静置期間においても、400~500K 程度にピークを有する水素は検出されず、コンクリート中に緊張状態で保持されている PC 鋼棒であっても、拡散性水素の放出が極短期間のうちに行われたと考えられる。

(2) PC 鋼線

PC 鋼材の製造法の違いによる影響を調べるために、冷間引抜き加工を施した PC 鋼線を用いた。緊張力 60%、電流密度 5A/m²、通電期間 8 週間にて処理した終了直後、および、処理後の静置期間 30 日までの結果を Fig.6 に示す。PC 鋼線製造時の状態を Original として、無通電処理(0A/m²)を Non-treated として併記する。また、それぞれの拡散性水素の積算量を Table 7 に示す。

PC 鋼線においても、Original では、拡散性水素は全く検出されない。また、塩分を含むコンクリートに埋設された無通電処理の供試体は、400~500K に明確なピークは見られないものの、腐食によって発生する水素のために、微量の拡散性水素が検出されるとともに、500K 以上の水素も増加している。一方、5A/m²の通電処理を行った供試体では、PC

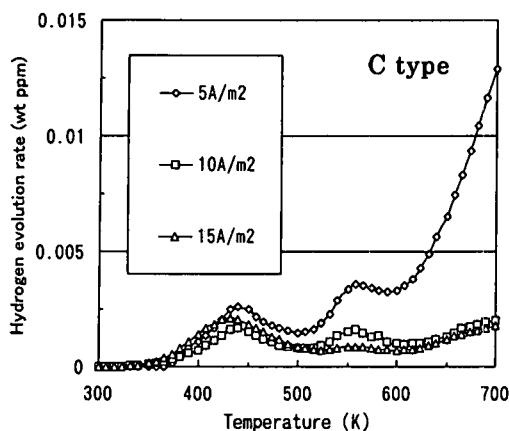


Fig. 7 Hydrogen evolution curve on high current density

Table 8 The cumulative amount of diffusible hydrogen

Type of bar	Current density	Diffusible Hydrogen (wt ppm)
C	5 A/m ²	0.13
	10 A/m ²	0.09
	15 A/m ²	0.12

鋼棒の場合と同様に、拡散性水素量の増加が認められる。また、処理終了後の静置期間においては、500K以下にピークを有する水素が急速に減少し、処理終了後7日以内ではほぼ消滅している。また、その後30日までの静置期間においても、拡散性水素のピークは検出されず、P C鋼棒と同様に、拡散性水素の放出が短期間のうちに行われたと考えられる。

以上のP C鋼棒、および、P C鋼線を用いた吸蔵水素量の測定結果から、水素脆化に直接影響を及ぼすと考えられる拡散性水素はデサリネーション処理によって、一時的に鋼材に吸蔵されるが、処理終了後、速やかに放出されるため、水素脆化への影響は解消すると考えられる。

(3) 過大な電流密度

P C鋼棒のC typeを用いた供試体において、緊張力60%、通電期間8週間としたときの電流密度の大きさと吸蔵水素量との関係をFig.7に、拡散性水素の積算量をTable 8に示す。

通電処理による水素の発生量は式(2)の反応式に従うため、電流密度に比例するはずであり、P C鋼材へ吸蔵される水素量も増加すると考えられる。しかし、Fig.7やTable 8では、最も電流密度の小さい5A/m²の吸蔵水素量が10A/m²や15A/m²よりも

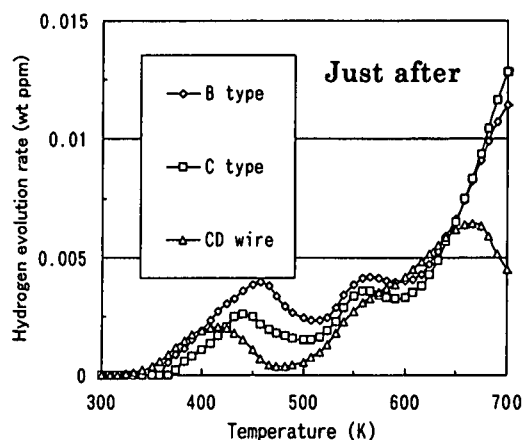


Fig. 8 Hydrogen evolution curve of PC bars and PC wire

Table 9 Peak temperature below 470K and activation energy

Type of PC	B type	C type	CD wire
Temperature of peak	460K	440K	415K
Activation energy(kJ/mol)	72.6	69.4	65.5

大きな値となっている。この原因としては、鋼材周辺で発生する水素ガスの膨張圧、および、鋼材とコンクリートの界面の付着力低下によるものと考えられる。本来、式(2)に従って、発生する水素量は電流密度に比例し、その結果、発生する水素ガス量も電流密度に比例している。一方、鋼材周辺の空隙部の体積が同一とすると、発生する水素ガスの圧力は水素ガス量に比例する。すなわち、鋼材周辺のコンクリートを押し広げようと作用する引張応力は、水素ガスの発生量に比例し、電流密度に比例する。さらに、過防食状態で通電処理を行った場合、カソードである鋼材に沿ったひびわれがコンクリートに発生する¹⁰こと、および、過電流処理により鉄筋近傍のセメントペースト層の細孔構造が変化する¹¹ことが報告されている。

従って、10A/m²以上の電流密度による通電処理においては、P C鋼材周辺のコンクリートに微細なひびわれ等が発生し、その結果、水素ガス圧力が緩和され、水素ガスがコンクリート方向へ容易に拡散することにより、5A/m²の場合よりP C鋼材に吸蔵される水素量が減少したと考えられるが、この点については、さらなる検証が必要であると思われる。

(4) 鋼材種類間の比較

Fig.5とFig.6において、デサリネーション終了

直後(Just after)の 400~500K の領域で検出される水素のピーク時温度が鋼材の種類により異なっている。一般に、熱分析法では、鋼材内部の欠陥に捕捉されていた水素原子や水素イオンがトラップサイトから離脱する、あるいは、水素分子が水素原子や水素イオンに解離する時に水素を検出していると考えられている。従って、検出時の温度は、水素を鋼材から離脱させるために必要な活性化エネルギーと考えられ、ピーク時温度により、鋼材と水素の結合の強さや形態を推測できる。活性化エネルギーは次の式(4)で求められる¹²⁾。

$$\frac{E}{R \times T_p^2} = \left(\frac{\nu_1}{\beta} \right) \times \exp \left(\frac{-E}{R \times T_p} \right) \quad (4)$$

但し、Eは活性化エネルギー(KJ/mol)、Rは気体定数 [8.31(J·K⁻¹·mol⁻¹)], T_pはピーク時温度(K), ν₁は速度定数 [10¹³(S⁻¹)], βは昇温速度(K/s)である。

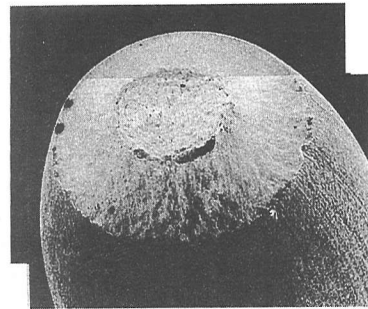
緊張力 60%, 電流密度 5A/m², 8週通電処理直後における3種類のPC鋼材の水素吸蔵量を Fig.8 に示し、それらのピーク時温度と式(4)から求められる活性化エネルギーを Table 9 に示す。活性化エネルギーの値から判断すると、冷間加工材である CD wire が最も小さな値になっており、続いて、C type, B type となっている。従って、B type より C type, C type より CD wire の方が、より不安定で移動しやすい拡散性水素を吸蔵していることになる。

5. 破断面の観察

PC鋼材の破断面の観察として、より不安定な拡散性水素を吸蔵する C type と CD wire を用いて、①製造時(Original), ②緊張力 60%, 電流密度 5A/m², 8週通電処理直後(Just after), および、③通電処理後7日間静置(7 days after), について実施した。

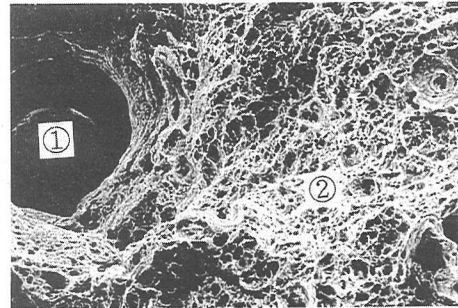
C type の破断面の全体形状はいずれも、Photo 1 に示す様に、延性的な破壊を示すカップアンドコーン型である。破断面の観察位置は、カップアンドコーン型の中央部で、拡散性水素の影響が表れやすい不純物である介在物(inclusion)周辺とし、Photo 2 に示す。

製造時は、介在物周辺も含めて破断面全体に靱性破壊を示すディンプル(dimple)形状が見られる。一方、通電処理直後は、ディンプル形状も見られるが、介在物周辺には擬へき開(quasi-cleavage)が見られる。しかし、7日間静置では、擬へき開が消滅し、ディンプル形状が破断面全体に復活している。ディンプル→擬へき開→ディンプルへと変化する現象は、

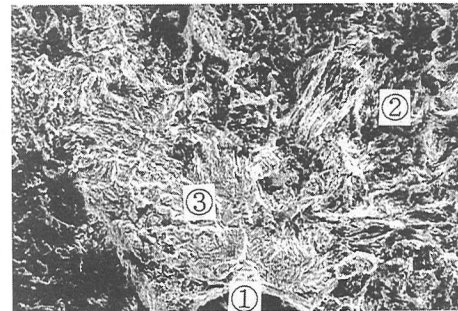


C type — 1mm

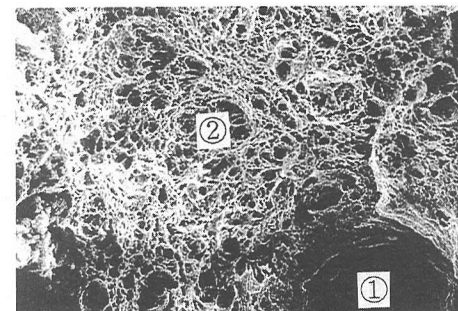
Photo 1 Fracture surface of Original(C type)



Original — 10μm



Just after — 10μm



7 days after — 10μm

①:Inclusion, ②:Dimple, ③:Quasi-cleavage

Photo 2 SEM photos of fracture surface(C type)

熱分析によって 400~500K で検出された拡散性水

素の挙動と一致している。

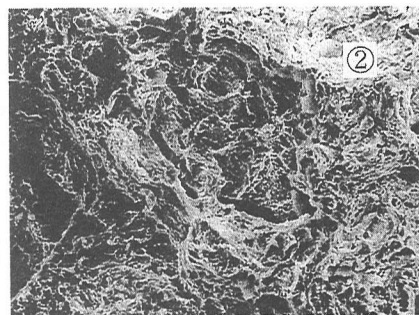
CD wire の破断面も、全体形状は延性破壊を示すカップアンドコーン型である。破断面の観察位置は、カップアンドコーン型の中央部とし、Photo 3 に示す。①製造時、②処理直後、③通電処理後7日間静置、のいずれにおいても、良好なディンプル形状が観察される。また、C type の処理直後で観察された擬へき開部は、CD wire では顕著には認められない。一般に、冷間引抜加工材は、強加工により導入される高密度転位が水素の有効なトラップサイトになること、および、金属繊維組織が破断方向と垂直で亀裂進展の抵抗になること¹³⁾、などの理由により、破断面の形状に関しては、水素の影響を受けにくいためであると考えられる。

以上より、不安定な拡散性水素を吸蔵している C type と CD wire についての破断面の観察結果から、①破断形状は延性破壊のカップアンドコーンを示し、脆性的ではないこと、②破面に無数のディンプル形状が観察されること、③処理直後に、部分的な擬へき開部が現れても、一時的であり、処理7日後には消滅すること、および、④この現象が拡散性水素量の挙動と一致していること、が判明した。

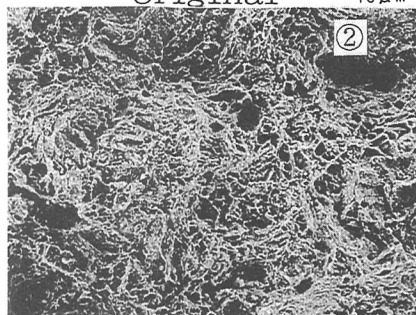
6. まとめ

デサリネーションを実構造物に適用する場合よりもやや大きめの電流密度(5~15A/m²)を用いて実施した本研究において、得られた結果を以下にまとめる。

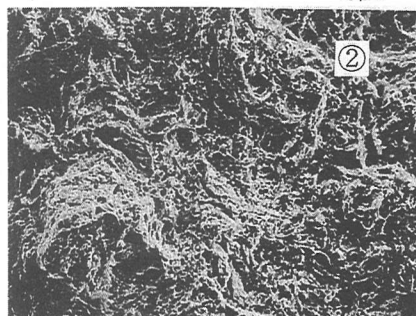
- (1) 熱処理材の P C 鋼棒(B種, C種), 冷間加工材の P C 鋼線のいずれにおいても, 電流密度 5A/m² の通電処理により, 拡散性水素(400~500K)が鋼材中に吸蔵される。しかし, 通電処理終了後, 直ちに, 拡散性水素は逸散し, 3日~7日で完全に消滅する。一方, 無通電の P C 鋼材でも, 腐食による水素の吸蔵が確認された。
- (2) P C 鋼棒の結果では, 拡散性水素量は8週通電より, 4週通電の方が少なく, P C 鋼材に吸蔵される水素量は通電処理時間の影響を受ける。
- (3) 通電処理中に拡散性水素を吸蔵しても, 緊張力が50~60%では, P C 鋼材の破断は起こらなかった。
- (4) P C 鋼材の緊張力では, 50%と60%による違いは認められず, 本研究の範囲内では, 緊張力の差による水素吸蔵量への影響はない。
- (5) 電流密度の大きさによる影響は, 5A/m² の通電が最も水素量の吸蔵が大きくなり, 10A/m² 以上では, 水素の吸蔵量が5A/m² より少なくなった。この原



Original — 10 μm



Just after — 10 μm



7days after — 10 μm

②Dimple

Photo 3 SEM photos of fracture surface(CD wire)

因については, さらなる検証が必要と思われる。

- (6) P C 鋼材の破断面の観察では, すべての P C 鋼材において, 延性破壊であるカップアンドコーン型を示した。
- (7) P C 鋼棒では, 通電処理終了直後に介在物周辺部に部分的な擬へき開が現れたが, 処理後7日には完全に消滅し, 延性破壊のディンプル形状のみが観察された。また, この現象は, 拡散性水素吸蔵量の挙動と一致している。

謝辞：本研究の実施に当たって、終始、御協力・御指導を頂きました高周波熱錬(株)田中典男氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 例えば, Bennett, J.E. and Schue, T.J., ELTECH Research Corporation: Electrochemical Chloride Removal from Concrete: A SHRP Contract Status Report, *Corrosion* 90, Paper Number 316, 1990.
芦田公伸, 大瀬 宝, 半田 実, 石橋孝一, 酒井裕智: 電気化学的処理による鉄筋コンクリート構造物からの塩分除去工法における適用事例, コンクリート構造物の補修工法と電気防食に関するシンポジウム論文報告集, pp.63-68, 1994.
- 2) 鈴木信一, 石井伸幸, 宮川敏夫, 原田宏明: 鋼材の遅れ破壊特性評価試験法, 鉄と鋼, Vol.79, No.2, pp.227-232, 1993.
- 3) 石井浩司, 関 博, 福手 勤, 井川一弘, 杉橋直行: P C 鋼材の水素脆化に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.532/V-30, pp.131-140, 1996.
- 4) Locke, C.E., Dehghanian, C. and Gibbs, L.: Effect of Impressed Current on Bond Strength between Steel Rebar and Concrete, *Corrosion* 83, Paper Number 178, 1983.
- 5) 久田 真: 通電によるコンクリート中のイオンの移動に関する研究, 東京工業大学学位論文, pp.354-355, 1997.
- 6) Choo, W.Y. and Lee, J.Y.: Thermal Analysis of Trapped Hydrogen in Pure Iron, *Metallurgical Transaction A*, Vol.13A, pp.135-140, 1982.
- 7) Luu, W.C. and Wu, J.K.: Effects of sulfide inclusion on hydrogen transport in steels, *Materials Letters* 24, pp.175-179, 1995.
- 8) 鈴木信一, 石井伸幸, 宮川敏夫: 亜鉛メッキ高張力鋼の拡散性水素挙動と遅れ破壊, 鉄と鋼, Vol.82, No.2, pp.72-77, 1996.
- 9) 鈴木信一, 石井伸幸, 土田 豊: 高張力鋼の拡散性水素の挙動に及ぼす塑性ひずみの影響, 鉄と鋼, Vol.80, No.11, pp.855-859, 1994.
- 10) 馬庭秀士, 武若耕司: P C 構造物における電気防食の適用性に関する実験的検討, 土木学会第46回年次学術講演会講演概要集, 第5部, pp.360-361, 1991.
- 11) 上田隆雄, 小川智広, 宮川豊章, 芦田公伸: デサリネーション適用後の鉄筋腐食挙動について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.1, pp.1101-1106, 1996.
- 12) 高井健一, 関 純一, 山内五郎: 耐遅れ破壊特性に優れた Si 及び Si, Ca 複合添加高強度鋼の水素吸蔵特性, 鉄と鋼, Vol.80, No.3, pp.61-66, 1994.
- 13) 高井健一, 関 純一, 本間芳和: 冷間伸線型および熱処理型 P C 鋼材の遅れ破壊過程における水素吸蔵特性の比較, 鉄と鋼, Vol.81, No.10, pp.83-88, 1995.

(1998.5.13 受付)

INFLUENCE OF DESALINATION ON HYDROGEN STORED IN PRESTRESSING STEEL TENDONS

Masanobu ASHIDA, Takao UEDA, Shigeru MIZOGUCHI and Toyoaki MIYAGAWA

Nowadays, early age deterioration of concrete to be caused by chloride attack has become a severe problem. Desalination, which is an electrochemical treatment of chloride extraction from concrete, has been developed as an essential repair method. Steel bar embedded concrete acts as a cathodic electrode through Desalination process and its potential is lower than hydrogen occurring potential by electrolysis. Therefore, considering hydrogen embrittlement of prestressing steel tendons, Desalination does not yet apply prestressed concrete. In this study, hydrogen stored in prestressing steel tendons and fracture surface of its steel were investigated while Desalination to be applied prestressed concrete.