

金属材料損傷機構一覧表(5/9)

(株) ベストマテリア

大分類	中分類	小分類	概要
腐食	応力腐食割れ (SCC) (20)	応力腐食割れ (SCC)	<p>応力腐食割れは、応力と腐食性環境の存在および材質因子の三因子の重畳によって生じる現象であり、メカニズムに分類すると、次の3種類に分類できる。</p> <p>① 活性経路腐食機構による割れ進展 (APC: Active Pass Corrosion)</p> <p>② 変色皮膜破壊による割れ進展 (TR: Tarnish Rupture)</p> <p>③ 水素脆化による割れ進展 (HE: Hydrogen Embrittlement)</p>
		水素ブリスター・水素誘起割れ (HIC)・SOHIC (stress-oriented HIC)	<p>湿潤硫化水素環境で用いられる炭素鋼や低合金鋼に生ずる割れで、硫化水素応力腐食割れ (SSC: sulfide-stress cracking) とは異なって、圧延方向に伸びたき裂を特徴とする。すなわち、HICの割れの形態は基本的には、鋼の圧延方向に平行な割れ、これらの平行き裂が互いに干渉して連結した階段状の割れ、および表面近傍の割れによるふくれの3種類である。これらはその形態から、ステップ割れ、ブリスターとも呼ばれる。割れ近傍には大きな塑性変形が誘起されていて、主に擬へき開破面を呈する。作用応力や残留応力とは基本的に無関係に発生する。ラインパイプや油井管のような鋼管、あるいは压力容器や石油精製機器に用いられる鋼板で事例が多い。湿潤硫化水素環境でラインパイプ鋼等に発生するHICは、油井管、LPGタンク等に発生するSSC、あるいは自然環境で高力ボルトに発生する遅れ破壊 (DF: delayed failure) に比して、低強度の、軟鋼に属する、材料に発生することを特徴とする。いわゆる、“SOHIC (stress-oriented HIC)” は、微細な介在物を起点として外部からの負荷応力の存在下で成長するHICの一形態である。</p>
		硫化物応力腐食割れ (SSC)	高張力鋼で水分と硫化水素がsん在する環境で発生する。
		アルカリ割れ・苛性ソーダ割れ	苛性アルカリ脆化は表面亀裂からの応力腐食割れ形態で配管や機器が苛性アルカリ環境に曝された部位で起こり、溶接後熱処理をしていない溶接部近傍で著しい。
		アミン割れ	アミン割れは、気体・液状の炭化水素からH ₂ SやCO ₂ を除去するために用いられるアルカノールアミン溶液中における引張応力下の腐食による割れと考えられる。アミン割れはアルカリ応力腐食割れを生じる。溶接後熱処理されていない炭素鋼溶接部に接する部分や冷間加工部で生じることが多い。
		カーボネート割れ・炭酸割れ	カーボネート割れは炭酸塩環境における引張応力と腐食作用の混在する溶接部に面する亀裂や表面割れである。アルカリ応力腐食割れ (ASCC) 形態である。
CO-CO ₂ -H ₂ O SCC	CO-CO ₂ -H ₂ O環境における炭素鋼の応力腐食割れは、化学プラント配管系の溶接部、都市ガス容器などで報告されている。CO ₂ ガスを溶存する水環境で炭素鋼は湿性炭酸ガス腐食と呼ばれる速度の大きい腐食を受ける。COガスが共存すると、金属表面へのCOの吸着により腐食反応が抑制される。このような条件で応力腐食割れが生起する。割れ形態は粒内応力腐食割れであって、アノード溶解型の機構によるものと考えられる。合金元素としてのCrが割れ感受性抑制に効果があり、5~9%Cr-Mo鋼以上の材料は実用上割れに免疫と考えてよい。また、焼入れ焼き戻し材に比べて焼きならし材の割れ感受性は小さい。		

ポリチオン酸SCC	通常、空気と水分があるときに装置停止時・再稼動時や運転中に起こる応力腐食割れ形態。感受性のある硫化物酸の上で空気、水分、硫化物スケールが反応することにより形成する硫化物酸が原因で割れる。通常は溶接部近傍や応力の高い部位で起こる。割れは急速に数分・数時間で配管や備品の壁内に進展する。
塩化物SCC	引張応力、温度、湿潤塩化物環境が同時に働く場合、表面の初期亀裂は300シリーズステンレスやニッケル基合金における環境割れの原因となる。溶存酸素の存在で、割れの傾向が高くなる。
フッ酸中水素誘起割れ	水素応力割れは高強度低合金鋼や炭素鋼の溶接部・熱影響部の高硬度領域の表面が湿潤フッ化水素酸環境に露出してしまうことで発生する環境割れである。
フッ酸中SOHIC	炭素鋼に察製する水素誘起割れで、96-99%のフッ酸水溶液中で発生する。
シアンSCC	シアンを含む溶液中で生じる応力腐食割れ（SCC）を通称シアンSCCと呼んでいる。例えば石炭ガス中にはシアンガスが含まれており、石炭ガス精製装置の軟鋼溶接管ではシアンに起因してSCCを発生する。腐食に対しては、シアン化水素と硫化水素の影響が大きく、ガス液中の遊離アンモニウムと全酸（炭酸+硫化水素+シアン化水素）の比がある特定の範囲になると割れが生じる。
アンモニアSCC	アンモニアを含む蒸気の湿性環境で銅合金に見られる応力腐食割れ。無水アンモニア中の炭素鋼はSCC感受性がある。
硝酸塩SCC	硝酸塩環境における炭素鋼、低合金鋼の粒界型応力腐食割れである。NO ₃ -の濃度が高いほど割れやすく、温度も高いほうが割れやすいが室温でも割れる。炭素鋼、低合金鋼は硝酸塩水溶液環境では通常不動態であるが、結晶粒界は偏析したC原子などに起因して活性が高いため、無負荷状態では粒界感受性を示し、応力が負荷されると粒界応力腐食割れ感受性を示す。
鋭敏化割れ	オーステナイト系ステンレス鋼が550～850℃の範囲に曝されたときに、粒界にクロム炭化物が析出し、粒界近傍にクロム欠乏層ができ耐食性が低下する。これを鋭敏化と呼ぶ。鋭敏化されたステンレス鋼は粒界に沿って応力腐食割れ（粒界型応力腐食割れ）を生じることがある。この割れを「鋭敏化割れ」と呼ぶこともある。
高温水割れ	原子力発電プラントのように、高温・高圧水を取り扱うオーステナイト系ステンレス鋼配管は、鋭敏化により溶存酸素を環境因子として粒界型の応力腐食割れを生じる。また高温水中でニッケル基合金も応力腐食割れを生じることがあり、これらを高温水割れと呼んでいる。
粒界型応力腐食割れ（IGSCC、粒界腐食割れ）・粒内型応力腐食割れ（TGSCC）	応力腐食割れ（SCC）は、応力と腐食性環境の存在と材料因子の3因子の重量効果によって発生する。割れ形態を大別すると、結晶粒界をき裂が進展する場合と、結晶粒内をき裂が進展する場合がある。結晶粒界を進展する場合を粒界型応力腐食割れ（IGSCC、Intergranular Stress Corrosion Cracking）と呼び、結晶粒内を進展する場合を粒内型応力腐食割れ（TGSCC Transgranular Stress Corrosion Cracking）あるいは貫粒割れと呼ぶ。
照射誘起応力腐食割れ（IASCC）	照射誘起応力腐食割れは、高温・高圧水中でステンレス鋼に観察される粒界型応力腐食割れである。特徴的なことは、粒界に沿った割れ経路が中性子照射により形成されることであり、IASCCの生ずる照射量のしきい値は5×10 ²⁴ ～10 ²⁵ n/m程度とされている。中性子照射により粒界近傍では、Cr、Moが欠乏する一方、Ni、Siの濃縮が起こり、割れ経路が形成されると考えられている。

	<p>外面応力腐食割れ（１）（ESCC）</p>	<p>高温で使用される配管等の設備では、断熱材を外面に施工する。保温材中に雨水が侵入すると、保温材中の塩化物イオンは雨水に溶解する。そのため、ステンレス鋼は、粒内型の塩化物応力腐食割れを生じることがある。100℃前後で最も生じやすい。さらに高温側では、金属表面が乾くので割れづらくなる。「S-05(2) ASCC（粒界型ESCC）」と区別して、粒内型ESCC, 塩化物型ESCCとも呼ぶこともある。</p>
	<p>外面応力腐食割れ（２）（ASCC）</p>	<p>常温大気中というマイルドな環境でも、ステンレス鋼の外面から応力腐食割れが発生することがある。粒界型の割れであり、大気中の海塩粒子が、金属表面に付着堆積し、塩分濃度が濃縮し、かつ湿潤環境にさらされると割れる。ステンレス鋼が鋭敏化し、粒界腐食感受性を示す場合に割れる事象であり、ステンレス鋼が鋭敏化してなければ割れる可能性は極めて少ない。鋭敏化型ESCC、粒界型ESCCとも呼ぶこともある。しかし、ステンレス鋼のESCC（保温材下での外面応力腐食割れ）とメカニズムや発生温度域が異なるので、ESCCとは区別してASCC（湿潤大気応力腐食割れ）と呼ぶのが一般的である。</p>