

## 講座

PC 鋼線の諸特性と金属組織  
との関連性について

## 1 はじめに

有史以来、人類は金属材料をさまざまな形に加工し、その特性を生かした使い方をしてきたけれども、特に「強さ」に最大の関心が払われてきたことは明白である。なかでも、近世における日本刀の強靱性が、繰り返し鍛錬されることによって形成された金属の繊維組織に起因していることはよく知られている<sup>1)</sup>。現代においては航空機、深海艇、ロケット、宇宙船などの部材として強靱性の開発はとどまるところを知らないと言ってもよいであろう。

図-1 は現在、人類が手にすることができる主な鉄鋼材料の強度を成分または金属組織変化と対応させて整理したものであるが<sup>2), 3)</sup>、実用鋼の中では PC 鋼線と同じ

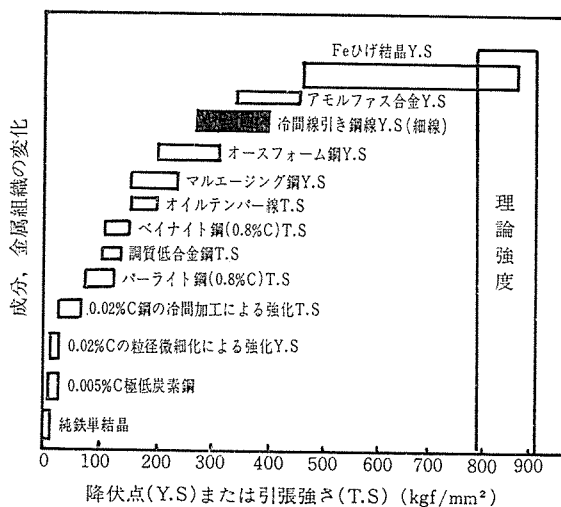


図-1 各種鉄鋼材料の強度比較 (PC 鋼線と同じ金属組織をもつ冷間線引き鋼線は実用鋼の中では最強の材料である)

金属組織をもつ冷間引抜き鋼線がもっとも高強度を示していることがわかる。すなわち、我々の PC 鋼線は史上最強の実用材料となり得る性質を秘めた非常に特長のある鋼と言えらる。また、更に PC 鋼線は図-1 のマルエージング鋼やオースフォーム鋼のように高価な Ni, Co, Mo, Cr, Ti といった元素を多量に添加する必要もなく、極めて安く多量生産されているという点にも大きな価値があり、年間 15 万トン以上<sup>4)</sup>にのぼる使用があるのも、このためと言っても過言ではない。

ところで、PC 鋼材には冷間引抜き鋼線および鋼より線、熱処理鋼棒などが知られており、これらについては過去に種々の解説も行われているが<sup>4)~8)</sup>、金属組織学的見地に基づいた報告は少ない。そこで本講座では、このように優れた性能を持つ PC 鋼線の絞りを、その諸特性はどのような金属組織によって決まっているかを電子顕微鏡的スケールでの組織と関連させて解説を試みたものである。

## 2 転位論の初歩

PC 鋼線の特徴をミクロな金属組織によって理解するためには、どうしても材料中に存在する結晶の乱れ (転位と呼ばれている) を抜きにしては語れないので、まず転位論の初歩について述べてみよう。

図-2 は結晶中における鉄原子の並び方を示したもので (実際は・印の鉄原子はもっと大きく接近して密に並んでいるが、模式的に示した)、図-2 (a) の A-B (すべり面という) の上側の結晶は  $a_1$  の位置に原子列が 1 枚余分に入っており、この部分の  $\perp$  印の所は紙面に垂直に線状に存在するので「転位線」と呼ばれており、結晶欠陥の代表的なものの 1 つである。この転位は力が加わ

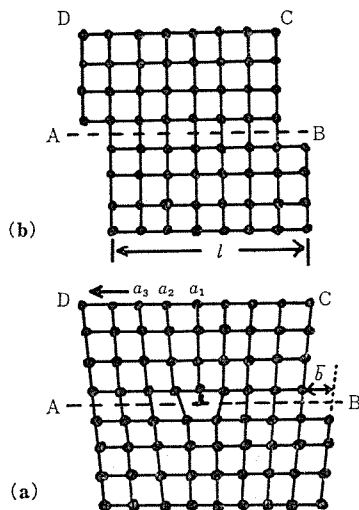


図-2 結晶の欠陥（転位）によって変形が伝わる様子を  
示す模式図（転位が B→A へ抜けることにより  
b だけ変形が生じる（A-B はすべり面）

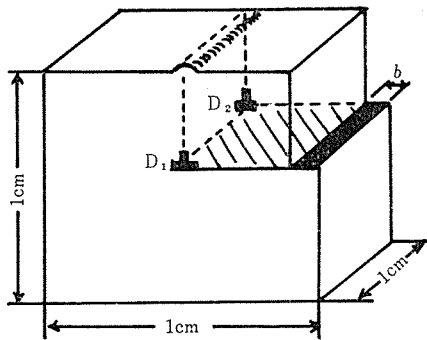


図-3 変形の生じた領域と未変形域の境界における転位  
の様子（境界にはひずみがしわよせされた形とな  
っており、このしわが伝わって塑性変形が起ると考  
える）

ると順次  $a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_3$  と移動していき、左端 D に抜けた状態が 図-2 (b) である。したがって転位が 1 本移動すると必ず原子面間隔 図-2 (a) の  $\bar{b}$  (バーガスベクトルという) に相当する長さだけミクロな変形が起こったことになる。それゆえ、マクロなひずみを  $\epsilon$ 、転位の移動距離を  $l$ 、転位密度(転位の本数)を  $N$  とすると (1) 式の関係が得られ、原子スケールでの転位の動きは

$$\epsilon = N\bar{b}l \dots\dots\dots (1)$$

マクロなひずみと関連付けて表わせる。

図-3 は転位が結晶中で止まっている状態を示しており、その動きはちょうど、カーペットのシワを順次送ってやり、シワが端まで抜けるとシワの分だけカーペットが全体に移動しているという類似で説明されることが多い。このシワ(転位)を動かす力は純鉄で数  $\text{kgf/mm}^2$  と言われており、転位を少量含む材料は非常に低い力で塑性変形が起こることになる。図-1 に示した理想強度  $900 \text{ kgf/mm}^2$  という値は転位を含まない結晶を塑性変形

させるに要する応力を示しており、結晶全体の全原子を一度に引張り 図-2 (b) の状態にすることに相当し、カーペット全体を引張ることに等しいから強大な力が必要となる。

転位密度  $N$  は次のように表わされる。すなわち、図-3 で結晶全体の体積は  $1 \text{ cm}^3$  で転位の長さは  $1 \text{ cm}$  であるから  $N=1 \text{ cm/cm}^3$  と書けるが、通常は  $N=1 \text{ 本/cm}^2$  と表現する。よく焼なましされた鉄で  $N=10^8 \text{ 本/cm}^2$  と言われている。

以上のことより、鉄鋼材料の強さというものは、この転位の移動を止める状況を作れば(塑性変形は起こらないので)、上昇するであろうと理解される。そして、我々が測定している弾性限(0.005% ひずみに相当する応力)とはこのような転位が少し動いた状態であり、降伏点(0.2% ひずみ)とは、この応力以上で転位が多量に移動を開始する点と定義付けることができる。したがって、焼鈍された材料を加工すると強さが上昇するのは、このような転位が新しく生まれ互いに絡み合って動きにくくなるためであり、初めから多量の転位を含むものでは、複雑に絡み合っているのを動かすのに大きな力が必要となり、高強度という特性を示すことにはほかならない。

転位が新しく生まれるメカニズムについては種々提案されているが、図-4 は Frank と Reed によるもので、A-B の転位は介在粒子や析出物などで両端を固定されており、外力によって膨らんで移動し、次々と新しい転位が生まれる。この A-B のことを転位が生まれる源という意味で Frank-Reed 源と呼んでおり、実在することがわかっている。強加工された鉄鋼材料では転位密度  $N$  は  $10^{12} \text{ 本/cm}^2$  にも達することが実測されている。

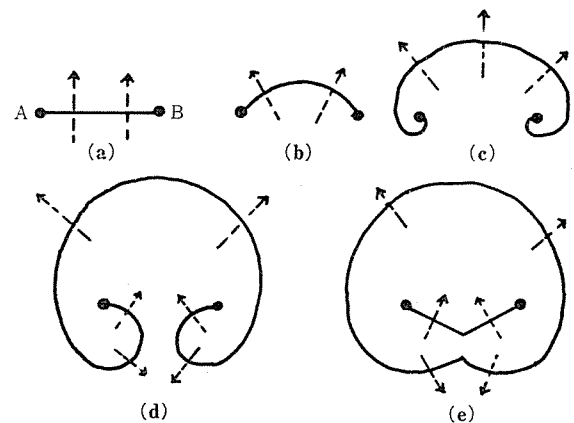


図-4 転位の増殖機構を示すモデル ((a)→(e) と転位は膨張し、A-B で次々と新しい転位が生まれる (A-B は Frank-Reed 源))

### 3 PC 鋼線の製造工程とその意味するもの

図-5 は PC 鋼線の製造工程であるが、ここではそれぞれについて冶金学的に意味するところについて述べてみたい。

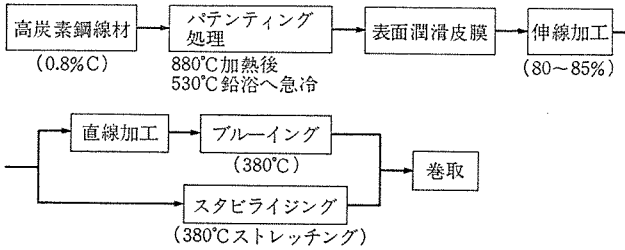


図-5 PC 鋼線の製造工程

#### (1) パテンティング処理

この処理は線材を 880°C 程度に加熱後、530°C ぐらいの鉛浴中に急冷するもので、処理後の電子顕微鏡組織を写真-1 に示す。この写真は線材を 0.3 mm 厚さぐらいの円板状に切り出し、手研磨で 0.1 mm ほどの厚さにしたのち、クロム酸 (CrO<sub>3</sub>) 水溶液中で電解研磨によって 0.1 μ (1000 分の 0.1 mm = 1000 Å) ぐらいの厚さとし、電子線が鉄薄膜中を透過できる状態にして得られたもので、鉄内部の微小な結晶のひずみ (転位)、介在物、析出物、粒界などを直接観察することができるものである。写真-1 で黒い帯状のものがセメンタイト (Fe<sub>3</sub>C) と呼ばれる鉄と炭素の化合物で、セメンタイトのみを抽出してみると、写真-2 のように板状であり、直線状に脆く割れる脆性物質であることがわかる。この鋼には炭素が重量で 0.8% 含まれているので、セメンタイトは



写真-1 高炭素鋼線材の鉛パテンティング組織を示す薄膜透過電子顕微鏡写真 (細い帯状のものがセメンタイト)

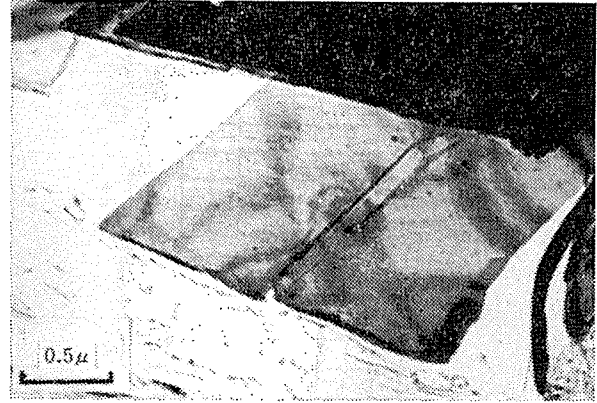


写真-2 鉛パテンティング組織より HNO<sub>3</sub> によってフェライトを優先的に溶解して抽出した板状セメンタイトに発生した脆性的な直線状のクラック

体積率で 14.3% を占めることになる。写真-1 全体の組織名はパーライトと呼ばれ、セメンタイト板はフェライト (写真-1 の生地の部分で、ほぼ純鉄に近い成分をもつ軟質相) 中に 0.20 μ (2000 Å) ぐらいの間隙で種々の方向に並んでいる。この状態ではフェライト中の転位は少ないので、線材の引張強さは 130 kgf/mm<sup>2</sup> 程度を示すに過ぎないが、続く工程によって強靱な PC 鋼線に仕上げられていくことになる。

#### (2) 伸線加工

パテンティングによってセメンタイトとフェライトが交互に並んだパーライト組織はそのうち、図-6 に示す伸線ダイスにより順次減径加工が施される。通常 7~8 枚のダイスを連続的に通し、断面減少率で 80~85% 程度の伸線加工が与えられる。写真-3、写真-4 は 30% および 80% 加工後の透過電子顕微鏡組織を示したもので、セメンタイトの間隔は 30% 加工で約 0.13 μ (1300 Å)、80% 加工で 0.04 μ (400 Å) と狭くなっていることがわかる。そして注目すべきことは写真-3 の↑印で示すようにセメンタイトは単体では脆いにもかかわらず、軟質のフェライトで包まれた状態では曲がってお

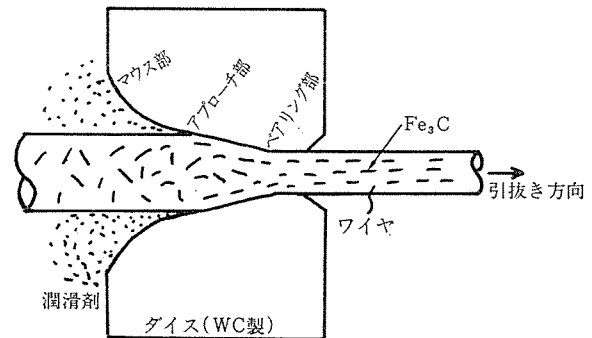
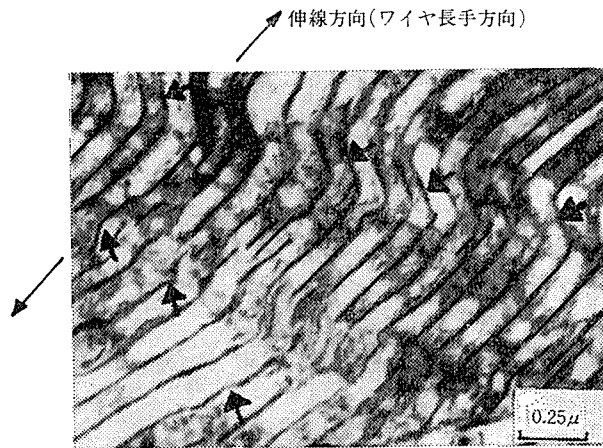
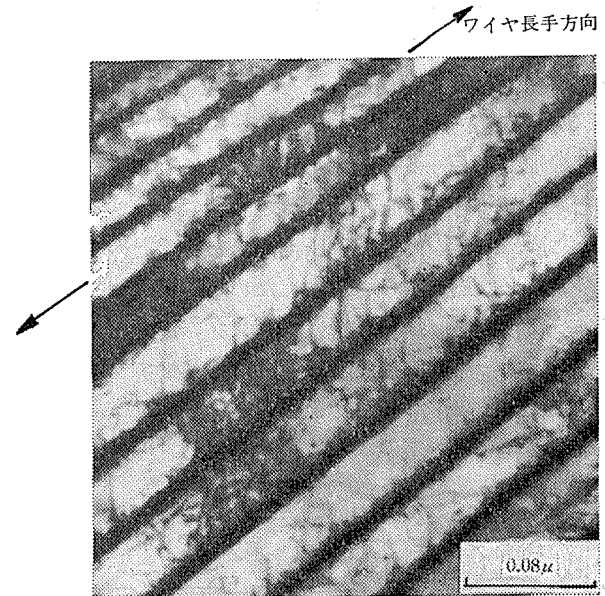


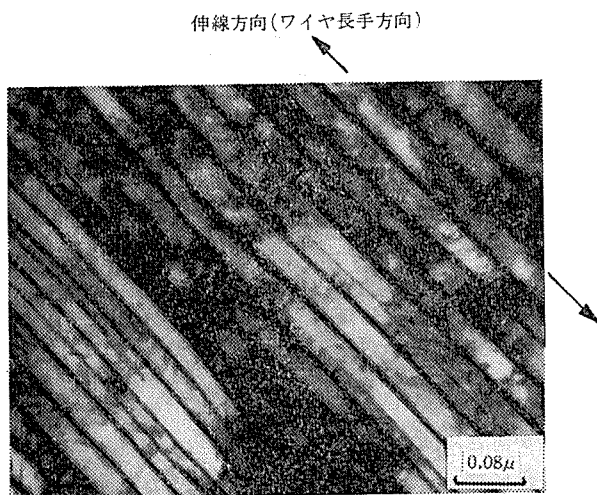
図-6 線引きダイス各部の名称と線材の加工状態 (伸線前は無方位の金属組織も強加工後は一方向に配列し、ファイバー組織が形成される)



写真—3 30%の伸線加工を与えた高炭素鋼線の電子顕微鏡写真(↑は脆いセメンタイトが延性的に塑性変形している部分を示す)

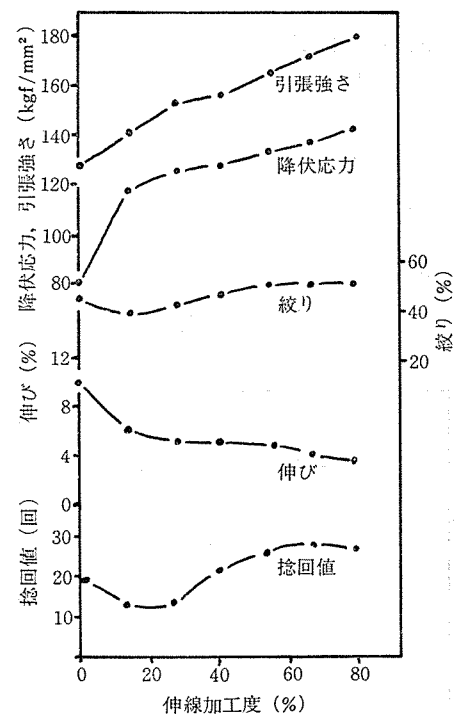


写真—5 PC鋼線ブルーイング処理後の薄膜の透過電子顕微鏡写真(細い線状のコントラストは転位を示す)



写真—4 80%の伸線加工を与えた高炭素鋼線の電子顕微鏡写真(黒いすじはセメンタイト板を表わし、セメンタイト間隔は約0.04 μmである)

り、かなりの塑性変形が可能ということである。これはフェライトとセメンタイトの界面が原子的に結合されていることに起因している。すなわち、PC鋼線の強靭性は、強度は非常に高いが(700 kgf/mm<sup>2</sup>)、しかし本来なら脆いセメンタイトという炭化物を延性のあるフェライトで包囲し、その脆さを消滅させ、強さを十分に発揮できるような仕組みにした複合材料であるという所に最大の特長があり、図—1に示した引抜き鋼線が史上最強の実用材料であると言われているのもこの点にある。写真—5は写真—4を更に拡大したもので、セメンタイト板の間にある糸状の絡まったものが図—2、図—3で述べた「転位」で、黒い1本の線は図—3のD<sub>1</sub>~D<sub>2</sub>の1本に対応する。フェライトの強さはこの転位の密度Nの平方根に比例すると言われており、複合材としてPC鋼線の強度を考えると<sup>9)</sup>、700 kgf/mm<sup>2</sup>のセメンタイトが14.2%、フェライトの体積が85.8%であるか



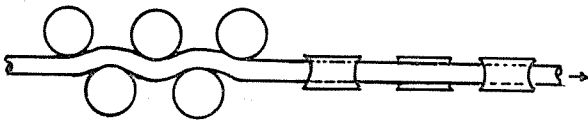
図—7 0.80% C 高炭素鋼線の機械的性質に及ぼす伸線加工度の影響

ら、200 kgf/mm<sup>2</sup>のPC鋼線におけるフェライトの強さは117 kgf/mm<sup>2</sup>と計算され、鈍鉄に近い成分のフェライトも非常に強化されていることがわかる。図—7は伸線加工による機械的性質の変化を示したもので、加工度の増加とともに降伏応力と引張強さが上昇し、伸びが減少するのはフェライト中の転位密度が増加し、セメンタイト間隔が狭くなるためであり、絞りと捻回値が向上

するのは 写真—4, 写真—5 に示したようにセメントイ  
トがワイヤの長手方向（伸線方向）に並ぶことに対応し  
た特性変化と言えるだろう。

(3) 直線加工

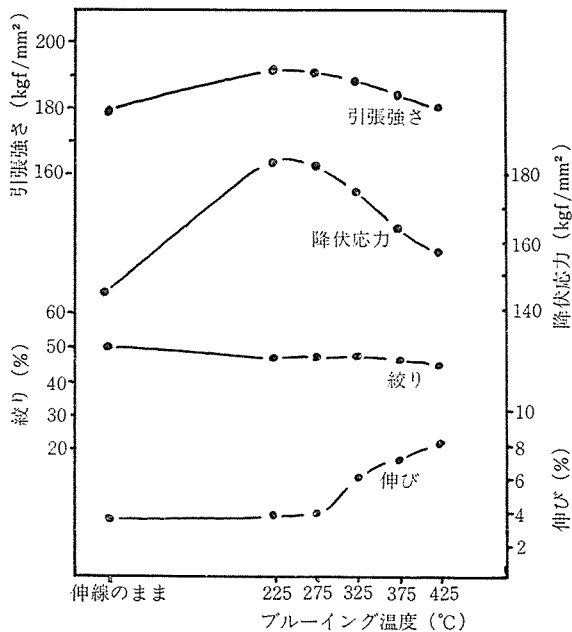
直線加工は 図—8 に示すように、ワイヤに交互曲げ加  
工を与えて、コイルを塑性変形させ真直ぐにする処理で  
あるため、曲げの内側では圧縮加工となり、伸線時の金  
属の流れとは逆向きの力が働くため、写真—5 で示した  
絡まった転位が解けてしまい、ランダムに分布して転位  
間相互の影響が弱まるので、転位は動きやすくなり、引  
張試験で弾性限、降伏応力を測ると伸線加工材より低下  
することになる（このような影響を発見者の名をとって  
バウシinger効果といっている）。



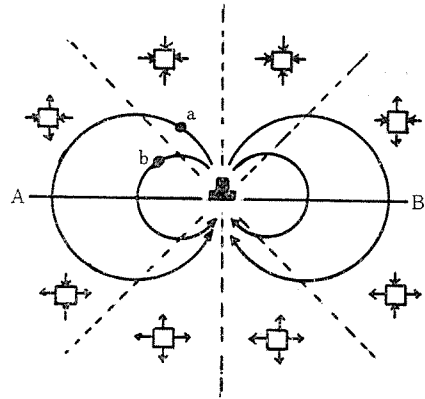
図—8 交互曲げ方式によるワイヤの直線加工（ローラで曲  
げられた内側は圧縮ひずみとなり伸線加工方向と正  
反対になるため、転位組織にも変化が現われる）

(4) ブルーイング

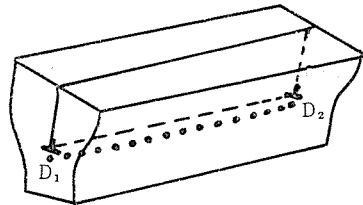
図—9 は伸線加工によりセメントイ  
トが長手方向に細  
かく配列した高炭素鋼線を、各温度で 30 秒加熱後冷却  
した時の室温における機械的性質の変化である。強度は  
225°C にピークがみられるが、実用的には伸びも重視さ  
れるので、ブルーイング処理はおよそ 380°C で行われ  
る。この温度では熱エネルギーにより転位は移動して消  
滅する部分もあるので、少し強度は下がり（伸線加工材



図—9 ブルーイング処理による機械的性質の変化  
(0.80% C 鋼)



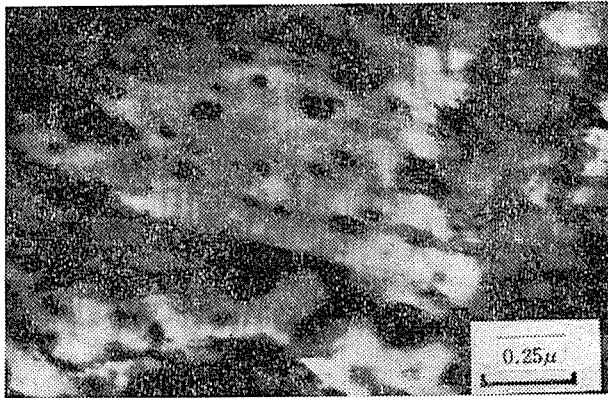
図—10 転位の周りの応力分布 (a, b の炭素原子は  
ブルーイング処理中に拡散し、A—B 上側  
の圧縮サイドからひずみ勾配に沿って引張  
サイドに移り、転位直下に偏析する (A—  
B はすべり面))



図—11 ブルーイングによって転位線直下に  
偏析した炭素原子の列（炭素の集合  
により、転位の移動は非常に困難に  
なる (D<sub>1</sub>~D<sub>2</sub> は転位線))

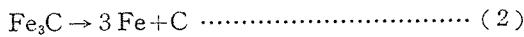
より高い)、伸びは回復する。この処理によって鉄には  
酸化膜が付き、青色にみえるのでブルーイングと称され  
る。つぎにブルーイングするとなぜ強度が上昇するかに  
ついて考えてみよう。

図—10 は 図—2 で示した転位の周りのひずみ場の様  
子を示したものである。A—B (すべり面) は 図—2 の  
A—B と同じ面で、A—B より上側は原子面が 1 枚余分  
に入っているため圧縮、下側は引張になっていることが  
わかり、例えば a, b にある炭素原子は径が小さいので、  
380°C に加熱されると鉄原子間の隙間を通して等ひずみ  
位置に沿って引張側へ移動（拡散）し、もっとも隙間の  
大きい転位直下に偏析することになる。図—11 はこの  
状態を示したもので、このように炭素原子が集合すると  
周囲にはますます大きなひずみが生じ、転位は非常に動  
きにくくなる（このような効果をコッレル効果とい  
う）。強加工材はもともと 写真—5 のように転位は絡ま  
って動きにくいわけであるが、更に炭素原子が転位を固  
着するので、この転位の移動は極めて困難となり、図—  
9 のように降伏応力は大きく上昇する。ところで、10<sup>11</sup>  
~10<sup>12</sup> 本/cm<sup>2</sup> にも達する多量の転位をすべて固着するに  
は、フェライト中の 0.02% という炭素量では全く不足



写真—6 80% 伸線加工後, 600°C で処理したときの電子顕微鏡写真 (球状粒子はセメンタイト)

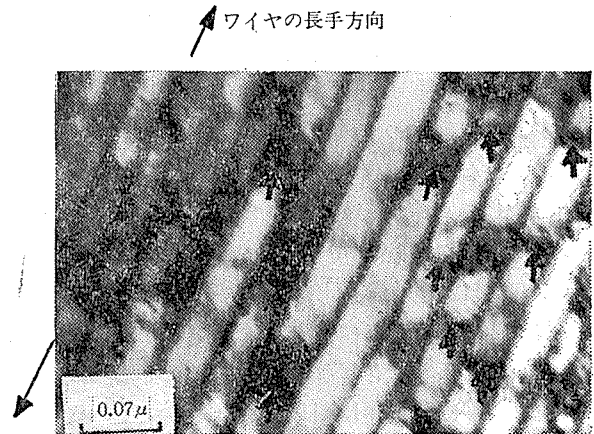
していることは明らかであるが, 幸いなことに 200~380°C の加熱によって (2) 式の反応が起こり, セメン



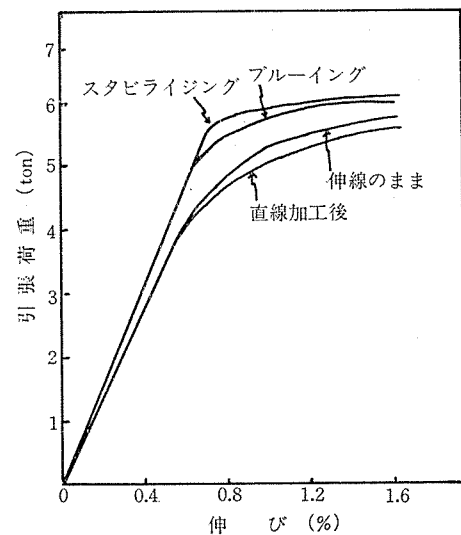
タイトは一部分解するので炭素原子の供給が不足することはない, このあたりの仕組みは自然の妙と言わざるを得ない。写真—6 は 600°C 加熱後の電子顕微鏡組織であるが, この温度の処理では靱性向上に寄与した細い板状セメンタイトは球状化し, フェライト中の転位も激減しているのだから, もはや PC 鋼線としての機能は示さなくなる。

(5) スタビライジング

この処理も 380°C で行われるのでブルーイングで生じた転位の固着現象は同じであるが, 処理温度において線径が 2/100 mm ほど減少するストレッチングが行われる点が異なっている。昇温下でストレッチングを行う最大の目的は写真—5 の一部に見られるような絡みつきのない単独に存在する転位を移動させ, セメンタイト板の壁や他の転位と絡ませて不動化させることにあり, もっぱらリラクセーション特性を改善するために行われてきた処理である。そしてリラクセーションの時間変化が小さいという意味で「スタビライジング」と称されるが, これは金属組織学的にもまさしく転位組織の安定化 (スタビライジング) と同一の意味をもっていると言えるだろう。写真—7 はスタビライジング処理後の転位組織であるが, ↑印で示すように転位は互いに絡まって転位の殻 (セル) を作っており, 不動化しているのがわかる (勿論, 炭素原子の集合も起こっている)。したがって, リラクセーションの試験荷重に対しても動き出す転位は極めて少なく, 非常に低いリラクセーション値を示すことになる (詳しくは後述する)。図—12 は各工程ごとのワイヤについて, 荷重—伸び線図を示したもので, 上述のように転位が動き易い状態にあるワイヤほど低い荷重で変形が始まっていることが明瞭に認められる。



写真—7 380°C でスタビライジング処理を施した PC 鋼線の薄膜による透過電子顕微鏡写真 (↑は転位のセル組織)



図—12 7 mm PC 鋼線の製造工程の違いによる荷重—伸び線図の変化

つぎに, PC 鋼線にとって重要な特性であるリラクセーション挙動についてももう少し詳しく考えてみよう。

4 リラクセーション特性について

リラクセーション値とはワイヤに一定の荷重を加えたのち (JIS では降伏応力の 80% に相当する荷重), 全ひずみ一定 (定着スパン一定) のもとでどれだけ初めの荷重が緩んだかを表わす特性であり, この現象が生じるのは試験荷重下でワイヤに非常に微小な塑性変形が生じていることが原因であり, この微小変形は (1) 式のように転位の動きそのものと対応付けられるので, リラクセーション値が大きいということは, 試験時間内に動いた転位の数が多く, 移動距離が長いと理解してよいであろう。図—13 は 3 種類のワイヤについて -100°C~200°C までのリラクセーション値を示したもので<sup>4)</sup>, 既に述

べてきたように、転位が不動化した組織をもつワイヤほどリラクセーション値は小さくなっていることがわかり、特にストレッチングにより転位をセル化したスタビライジング処理材の値は極めて小さい。したがってこのように安定な転位組織は通常使用する温度においては長期間持続し、40年後のリラクセーション推定値でもスタビライジング材は2.3~2.9%であるのに対して、ブルーイング材は11~13.3%と約5倍ほど大きいと言われており<sup>10)</sup>、このことはマイクロ組織からも十分理解されるところである。スタビライジングによる転位の安定化については熱処理鋼棒に関しても研究されている<sup>11)</sup>。つぎに、図-13で、すべてのワイヤにおいて温度が下がるとリラクセーションが低下し、昇温下で上昇することについてはつぎのように考えられる。

図-14に転位芯近くの原子の並び方を示すが、Cという鉄原子がaという落込み幅を越えてDという原子を乗り越えるためには（乗り越えると転位は1原子動いたことになる）エネルギーを必要とし、200°Cの温度ではこの山を熱エネルギーの助けを借りて越えることができるので転位は外力に対して動きやすくなるが、低温では

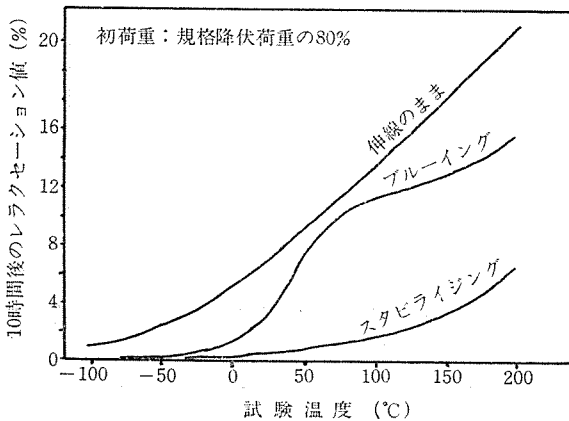


図-13 7mm PC 鋼線のリラクセーション値に及ぼす処理条件と試験温度の影響

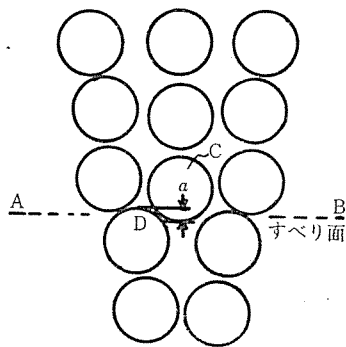


図-14 転位が移動する時に乗り越えねばならない原子間の落込み（リラクセーションの温度依存性はこの山を越える容易さによって決まる）

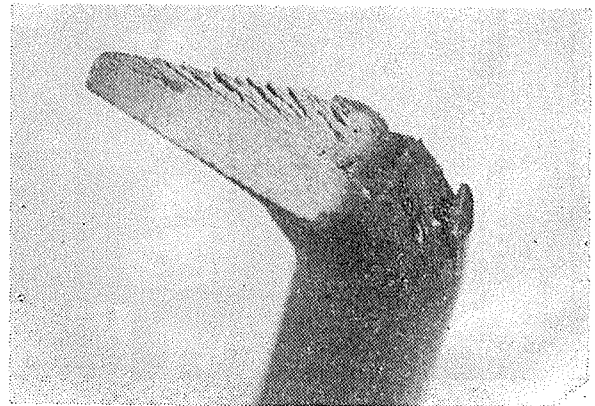


写真-8 PC 鋼線を衝撃破断させたときの靱性破面

熱振動は小さいので越えるためにはより大きな外力を必要とすることになり、したがって、一定の外力に対して低温では転位は動きにくく、昇温すると動き易くなるので、これに対応して低温ではリラクセーションは小さい値を示す。

## 5

### 靱性は何によってもたらされるか

結論から述べると、靱性はワイヤの長手方向に0.4μぐらいの間隔で微細に配列したセメント板によってもたらされると言える。靱性が優れているということは、大きな変形が起こってもクラックが急速に進展しないということの意味しており、既に述べたように、PC鋼線中のセメント板は700 kgf/mm<sup>2</sup>という極めて高い強度をもち、更に塑性変形が可能な状態で存在するため、クラックはこの超強靱物質を突き破って進むことは容易ではなく、材料全体の破壊は遅延される。写真-8はワイヤ表面に0.1mm深さのVノッチを付け、衝撃破断させたものであるが、クラックはセメント板で止められながら進んだ結果、破面上にはワイヤ長手方向に進展したと思われる鋭い亀裂が残っており、竹を折ったような靱い状態を呈していることがよくわかる。これはベンド（屈曲）試験においても同じであり、図-7で加工度40%以上で捻回値が向上することとも対応しており、靱性向上に及ぼすセメント板の効果は絶大である。

以上の例はセメント板が力学的にクラックを阻止している場合であるが、PC鋼線においてはこのセメント板が化学的にもクラックの進展を止めることが明らかになっているので、つぎに応力腐食割れについてその例を示そう。

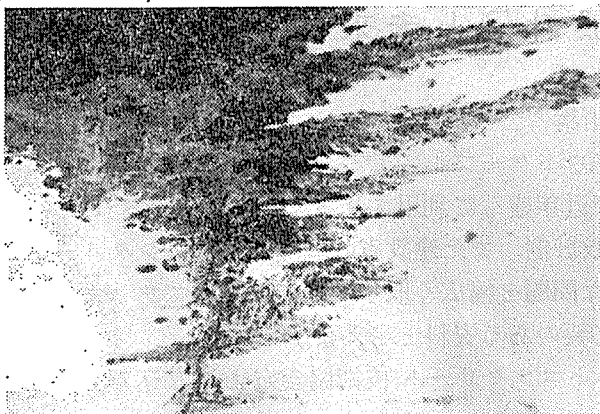
6

応力腐食割れ

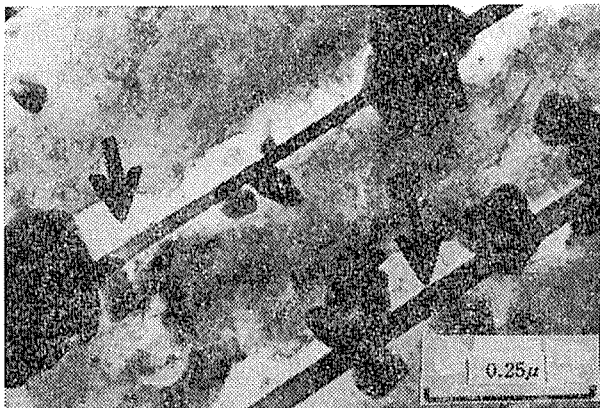
PC 鋼線の場合でも、施工後の防食処理が不安全であると、まれに応力腐食破断の起こることが報告されているが、一般には引抜き加工によって製造される PC 鋼線は応力腐食が生じにくいという認識が普通である。ここでは、なぜ PC 鋼線の応力腐食特性が優れているかについて考えてみる。

写真—9 は 20%NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 溶液を用いて室温で引張強さの 70% の荷重をかけて 1300 時間後に破断した PC 鋼線のクラック近傍の光学顕微鏡写真である。クラックは至る所でワイヤの長手方向（セメントの配列方向）に向きを変えており、これは明らかにセメント板がクラックの進展を阻止していたことを物語っている。写真—10 は 0.1 μ 厚さにした薄膜を硫酸銅 (CuSO<sub>4</sub>) 水溶液中へ 2 秒浸漬後、乾燥させて電子顕微鏡で観察した

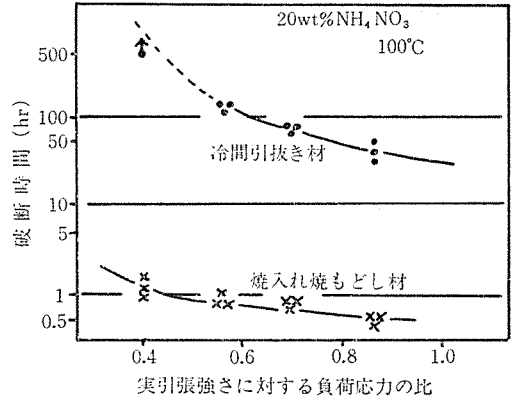
←→ ワイヤの長手方向



写真—9 20%NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 水溶液中で室温で 1300 hr 後に破断した PC 鋼線の応力腐食割れ (左右がワイヤの長手方向, 光学顕微鏡写真)



写真—10 10% 硫酸銅溶液へ 2 sec 浸漬した時にセメント上に析出した銅結晶 (↑印はフェライト生地)の局部溶解部, 電子顕微鏡写真)



図—15 セメントファイバー組織をもつワイヤ (冷間引抜き材) と、もたない材料 (焼入れ焼もどし材) の応力腐食特性の比較

ものである。セメント板に隣接したフェライト部分が優先的に溶解し (↑印), セメント板上へ CuSO<sub>4</sub> の Cu が置換析出しているのが認められる。このことはセメントが溶液中では化学的に安定で陰極となり、フェライト (鉄) が陽極となって優先的に鉄のみ溶け出したことを意味し、硫酸銅液中に釘を浸ると Cu が付着するというよく知られた反応をマイクロ組織的に検証したことになり、セメントの溶液中での役割をよく表わしている。

応力腐食割れのメカニズムについては定かでない部分もあるが、応力下で局部的に異常に腐食が加速されて破断に至るということは明らかである。したがって、化学的に安定なセメントはその局部腐食の進行を遅らせて破断寿命を長くしていることになる。このような現象は PC 鋼線開発の初期から必ずしも認識されていたわけではなく、意図的に付加されたものではないけれども、非常におもしろい現象であり、PC 鋼線にとっては幸いであつたと言えるだろう。図—15 はセメント板が存在しない焼入れ焼もどし材と PC 鋼線との破断寿命の比較であるが、このデータからもセメント板の重要性が認識される。

7

今後の展望

図—1 に示したように細線では引抜き鋼線の強度は 400 kgf/mm<sup>2</sup> にも達するが、現実に我々の多用している PC 鋼線は 3~7 mm 径のサイズのものが多く、これらでは引張強さ 200 kgf/mm<sup>2</sup> が限界のようである。しかしながら最近の軽薄短小の流れはエレクトロニクスばかりではなく、鉄鋼構造物の分野にも思想的な影響を及ぼしており、細く薄く軽くするための種々の開発が行われていると言ってもよく、特に高強度靱性化に強い関心が



示されている。

ところで、最近、PC 鋼より線で JIS SWPR 7 B (190 kgf/mm<sup>2</sup> グレード) を凌駕する 210 kgf/mm<sup>2</sup> 級の開発について本誌で報告されているが<sup>12)</sup>、そのほかに、長大橋メインケーブルワイヤ、高強度ロープ、ACSR 用鋼芯線などでも更に高強度のものが要求されてきている。これらに対しては少量の合金元素の添加と特殊な製線方法の有機的な組合せにより、目標値が実現されつつあり、今後は更に高炭素鋼線の極限值に向けて一層の発展が期待される。

参 考 文 献

1) 谷村 熙：金属学会会報，20 卷 (1981)，p. 351

2) 鈴木秀次：金属，(1963) 12 月 15 日号，p. 34  
 3) 荒木 透：鉄鋼材料学 (昭 45)，p. 7，[丸善]  
 4) 倉内 実：プレストレストコンクリート，25 卷 6 号 (1983)，p. 58  
 5) 土井 明，富岡敬之，田中義人：ibid.，12 卷 (1970)，p. 34  
 6) 富岡敬之：ibid.，13 卷 (1971)，p. 44  
 7) 土井 明：コンクリート工学，18 卷 (1980)，p. 52  
 8) 倉内 実：FAPIG，(1971-7) 98 号，p. 19  
 9) 須藤 一：金属学会会報，9 卷 (1970)，p. 3  
 10) 神鋼鋼線工業 (株) 技術資料，No. DRY 8001  
 11) 相原賢次：住友金属，26 卷 (1974)，p. 311  
 12) 坪野秀良，倉内 実，小林 剛，山岡幸男：プレストレストコンクリート，26 卷 3 号 (1984)，p. 5

【記：山岡幸男 神鋼鋼線工業 (株) 研究開発部】

◀ 刊行物案内 ▶

## PC 構造物 最近の設計例と未来像

本書は、全国七都市で開催された第 12 回 PC 技術講習会のテキストとして編纂したもので、下記に示すとおり、PC に関する世界的な傾向を示すアウトケーブルによる PC 橋の設計例、および PC 構造物の曲げ靱性の改善方法、更には我が国内で近年盛んに利用されるマイコンによる PC 橋の設計方法、国鉄の新しい設計標準による PC 橋の設計例、また建設省の調査によるコンクリート橋の塩害問題等、いずれも PC 関係者にとって身近な問題を幅広く取りあげてまとめてあります。PC に関係のある技術者ならば、一度は読んでおく必要のある資料と考えます。

ご希望の方は、代金を添えて (社) プレストレストコンクリート技術協会宛 お申し込みください。

体 裁：A 4 判 123 頁

定 価：3 500 円 送 料：450 円

内 容：(A) PC 橋にアウトケーブルを用いた設計例 (終局限界状態安全度検討法に関する規準，終局曲げ破壊時 PC 鋼材引張応力度，アンボンド PC 鋼材を用いた部材断面曲げに関する設計法，永久加重作用のもとでひびわれ発生のある部材断面の検討，試設計例)。(B) PC 構造物の曲げ靱性改善 (構造物の破壊時たわみ靱性の要求，鉄筋係数の制限，コンクリートの圧縮靱性改善とその効用，横拘束によるコンクリートの圧縮変形能力改善，同部材の曲げ靱性改善)。(C) マイコンを利用した PC 橋の設計 (マイコン概論，マイコンの利用方法，PC 橋におけるマイコンの利用，その他の利用)。(D) 新設計標準による PC 橋設計例 (I. PC I 型桁の設計計算例，主桁の断面決定，材料の許容応力度，設計の手順，曲げに対する部材の設計，せん断に対する部材の設計，横方向の検討。II. PRC 桁の設計計算例)。(E) コンクリート橋の塩害について (コンクリート中の鋼材の腐食，コンクリート橋の塩害の状況，その塩害対策)。