

# DLPを活用した高性能線材製品

## High Performance Wire Rods Product which Utilized DLP

大羽 浩 <sup>(1)</sup> Hiroshi OHBA	西田 世紀 <sup>(2)</sup> Seiki NISHIDA	樽井 敏三 <sup>(3)</sup> Toshimi TARUI	吉村 康嗣 <sup>(4)</sup> Koji YOSHIMURA
杉本 雅一 <sup>(5)</sup> Masaichi SUGIMOTO	松岡 和巳 <sup>(6)</sup> Kazumi MATSUOKA	疋田 尚志 <sup>(7)</sup> Naoshi HIKITA	戸田 正弘 <sup>(8)</sup> Masahiro TODA

### 抄 録

DLP(Direct in-Line Patenting)線材は生産開始から20年以上の歳月をかけて着実に適用量を拡大してきた。DLP線材の商品基本コンセプトは需要家で実施されている鉛パテント処理を省略することが可能な省エネルギー線材である。また、その後新しいコンセプトとして地球に優しい環境作りという視点から鉛を使用している鉛パテント処理から脱却してDLP線材を使用する需要家が増えて現在に至っている。DLP線材の基本特性および最近市場で実用化された高強度用途向けのDLP線材製品について紹介した。

### Abstract

**DLP (Direct in-Line Patenting) wire rods multiplied equal to or more than 20 years from the entry into production and the dosage expanded steady by them. The product basic concept of the DLP wire rods is the energy saving wire rods which can omit the lead patenting processing which is implemented by the customer. Also, the customer who avoids from the lead patenting which is using lead for the earth after that as the new concept from the viewpoint, the kind environmental development, and uses DLP wire rods increases and leads today. This paper was introduced the basic characteristics of the DLP wire rods and high-strengthened used DLP wire rods which was practicalized recently in the market.**

## 1. 緒 言

DLP(Direct in-Line Patenting)線材は1985年操業開始以来、現在に至るまで、線材の需要家は省エネルギーおよび環境改善など時代の要求に応える商品として使用している。このDLP線材の操業開始当時の最大のセールスポイントは、需要家の製造工程で実施されている鉛パテント処理を省略することである。実際にこの特性を最大限利用することにより需要家の省エネルギー化を実現させてきた。また、その後の市場動向の中で地球に優しい環境作りという新たなコンセプトに対して、DLP線材を使用することにより脱鉛を推進する需要家も年々増えてきて現在に至っている。さらに最近では中間パテント処理で使用する鉛パテント処理の完全置き換えを狙った高速ジェットガス冷却を用いた流動床パテント処理の検討も進められている。

DLP線材はメタラジカルな操業ノウハウに加え、高温溶融塩を取り扱うための設備保全およびメンテナンス技術ノウハウに支えられ、操業20年以上唯一の製品の座を保ち続けている新日本製鐵の主要なインライン熱処理製品である。本稿は、そのDLP線材の基本性

能および市場で要求されている高強度用途への最近の適用事例として、高強度PCストランドおよび高強度橋梁用亜鉛めっき鋼線について紹介する。

## 2. DLP線材

### 2.1 DLP線材の概要

図1に示すようにDLP線材は冷却媒体に溶融塩を用いてパテント処理を行うことを特徴とする直接熱処理法であり、冷却槽

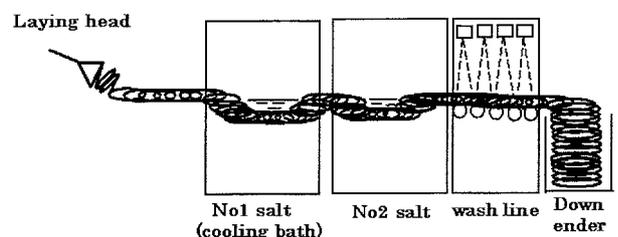


図1 DLP設備の模式図  
Outline of the DLP equipment

\* (1) 君津製鐵所 条鋼工場 線材技術グループ 調査役  
千葉県君津市君津1番地 〒299-1141 Tel:(0439)50-2772  
\* (2) 君津技術研究部 主幹研究員  
\* (3) 鉄鋼研究所 鋼材第二研究部 主幹研究員  
\* (4) 君津製鐵所 条鋼工場 線材管理グループリーダー

\* (5) 鋼構造研究開発センター 主任研究員  
(現 建材開発技術部 マネジャー)  
\* (6) 鋼構造研究開発センター 主幹研究員 工博  
\* (7) 君津製鐵所 条鋼工場 線材管理グループ マネジャー  
\* (8) 鉄鋼研究所 鋼材第二研究部 主幹研究員 工博

および恒温槽の2つに分かれている。冷却槽は熱処理時の初期の冷却速度を考慮して、処理する線径により任意の適正温度を選択する。一方、恒温槽は恒温変態を効率的に行うためにパーライト変態ノーズ温度で処理を行うことで微細なパーライトを付与させている。

### 2.2 DLP線材のマイクロ組織

写真1に高炭素鋼線材(SWRH 82B, 11mmφ)の熱処理別のSEM組織を示す。熱処理は図2に示す3種類で、DP(ステルモア冷却)、DLP(溶融塩ソルトパテンティング)、LP(鉛パテンティング)である。

写真1から判るようにステルモア冷却材のラメラ間隔が最も粗くなっている。一方、DLP材の組織はステルモア材と比較して明らかにラメラ間隔が狭く、緻密なパーライト組織を呈していることが判る。また、LP材と同等の緻密さを有していることが判る。ステルモア冷却されるDP材は冷却速度が他の水準よりも遅く高温で変態が開始するため、パーライト変態ノーズ近傍で変態が開始するDLP、LPよりも粗い組織を呈する。一方、DLPおよびLP材は理想的な恒温変態温度で熱処理が行われるため微細なパーライト組織を呈している。

### 2.3 DLP線材の機械的性質

#### 2.3.1 線材

DLP線材の機械的性質を図3に示す。この結果から判るように

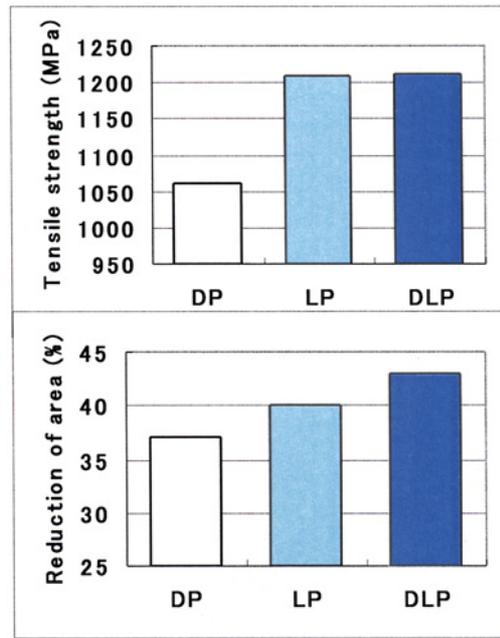


図3 各熱処理線材の機械的性質  
Mechanical properties of patented wire rods

DLP線材の特徴は、強度と延性のバランスがDPおよびLPと比較して優れている点にある。すなわち、DLP線材は先に示したように熱処理段階でパーライト変態がノーズ温度で開始するため、微細なパーライトが生成し強度がステルモア材よりも高くなる。一方、DLP材の引張強度はLP材と比較するとほぼ同等でありながら線材の延性を表す絞りはLP材よりもDLP材の方が高く良好な延性を有していることがわかる。これはLP材が線材圧延後に再度オーステナイト(γ)領域まで再加熱されるため、オーステナイト結晶粒径が、圧延後直ちに熱処理されるDLPよりも大きくなるためである。

#### 2.3.2 鋼線

鋼線の機械的性質について調査した結果を図4に示す。線材は伸線加工を経てあらゆる線径の鋼線に加工されて製品化される。

図4に示すように伸線加工歪の増加による強度の上昇傾向は、各加工歪の全領域に渡って同様の傾向を示し、比較のDP材よりも高い傾向は線材から鋼線まで引き継がれている。また、この傾向は絞りに関しても同様の傾向が認められ、DLP材は全加工歪領域で良好な延性を示している。LP材と比較しても線材段階で確認された延性の優位性は鋼線にも引き継がれLP材よりも高い値を示している。

### 2.4 高炭素鋼線の高強度化手段

鋼線の強度を増加させる方法を大別すると概ね図5に示すように以下の3つに集約される<sup>2,3)</sup>。

#### 2.4.1 パテンティング材の強度の増加

パテンティング材の強度の増加は、図5の①の部分を意味する。すなわち、恒温変態熱処理時に線材強度の増加を図る場合で、最適な熱処理条件の選択によりファインパーライト組織を付与させる。添加元素として考えられるのはC, Si, Cr, Vなどが挙げられる。高強度化のためにCを増加させた場合、偏析部に網目状の初析セメントイトが生成して伸線加工性能を著しく劣化させてしまうことがある<sup>4)</sup>。一方、DLPラインを用いると恒温変態熱処理時の冷却速度がステルモア冷却の場合より速くなるため、図6に示すように、初析セメントイトの生成を抑制させることが期待できる。従って、今後の

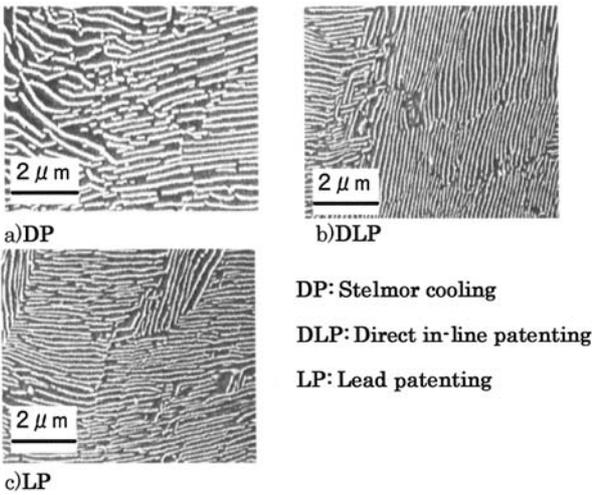


写真1 熱処理線材の代表的組織(SWRH 82B, 11mmφ)  
Typical microstructures of patented wire rods

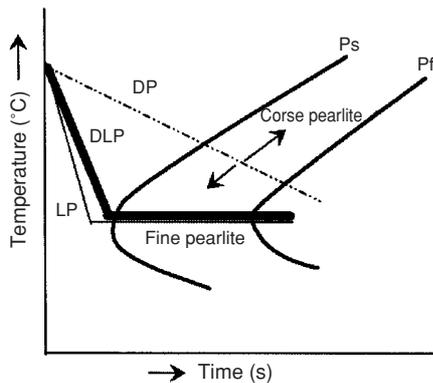


図2 工程別熱処理の概念図  
Scheme of cooling rate and pearlite transformation temperature

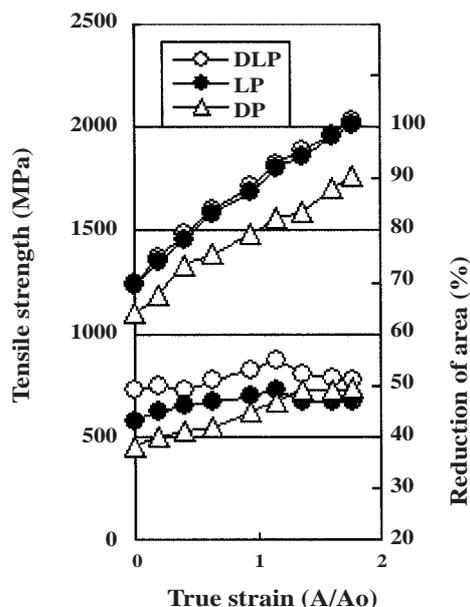


図4 各熱処理材鋼線の機械的性質  
Mechanical properties of patented steel wires

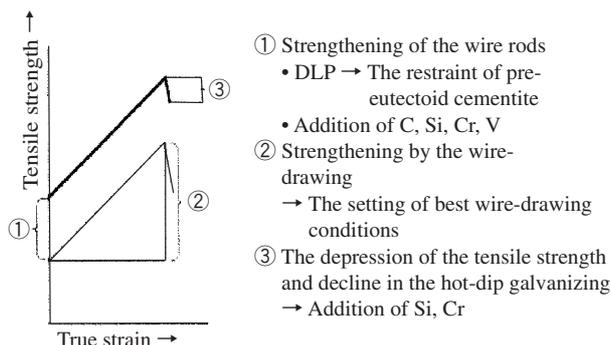


図5 高炭素鋼線の強化手段の考え方  
Way of thinking of the strengthening for the high carbon wires

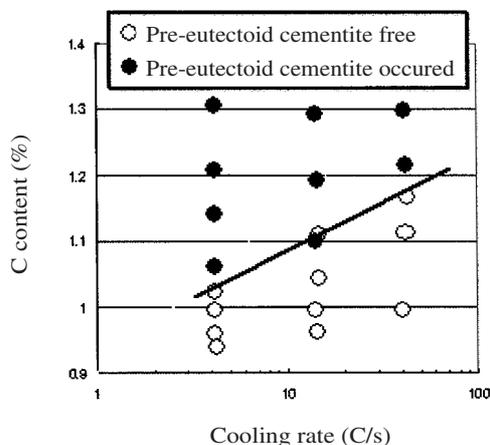


図6 初析セメンタイト生成におよぼすC濃度と冷却速度の関係  
Effect of the pre-eutectoid cementite formation on the C content and the cooling rate

さらなる高炭素鋼線の高強度化のためC量を増加する場合に有力なシーズとなる。

#### 2.4.2 伸線加工による強度の増加

伸線加工を付与させて強度の増加を図るには、伸線減面率を増加させて強度アップを図る方法(図5の②の部分)と伸線加工時の加工硬化率を増加させる方法などが挙げられる。このためには最適な伸線減面率の設定ならびに伸線加工中の諸条件(冷却条件、ダイス形状の適正化など)のきめ細かな条件設定を行う必要がある。

#### 2.4.3 溶融亜鉛めっき時の強度低下の抑制

伸線加工後に溶融亜鉛めっきやブルーイング処理が入る橋梁用鋼線およびPC用鋼線の場合は、めっき処理時の強度低下の抑制が高強度化のために重要な役割を担う(図5の③の部分)。また、各項目の詳細な改善項目に関しては紙面の都合上割愛する。

#### 2.5 高強度化の技術的なポイント

高炭素鋼線の高強度化に対して特に注意を要するのは、用途別に実際に使用される環境において適正な強度-延性バランスを有した材料を使用することが最も重要であり、そのためには鋼線と同時に使用される材料との複合性能評価を行う必要がある。具体的には、鋼線のみの高強度化を図っても構造物全体のパフォーマンスを同時に向上させることができるとは限らない。すなわち、鋼線の単独性能のみならず複合材としての性能が向上しているのかを問われることになる。

例えば、鋼線の複合材料として考えられる相手方の材料は、ガラス(ガラス封入線など)、コンクリート(PC)、被覆用エポキシ、めっき(溶融亜鉛めっき、合金めっき)、ゴムなどが挙げられる。その中で構造物としてポピュラーに用いられる高強度コンクリートおよび被覆用エポキシとの複合特性に関する評価を実施した。

### 3. 各特性の評価結果

#### 3.1 高強度PC床版への適用評価

現在、コンクリート強度は表1に示す様な区分別けとなっており、高強度PC床版用のPC鋼より線との組み合わせは高強度コンクリート(基準設計強度(Fc):40N/mm<sup>2</sup>)を用いて両者の複合材としての特性を評価した例について述べる<sup>5)</sup>。

##### 3.1.1 評価方法

###### (1) 供試材の成分

本評価で用いた材料は高強度化の第1段階として310Kの材料を用いて従来のレギュラー材を比較鋼として評価を行った。供試材の成分を表2に示す。この成分の13mmφ線材をDLP処理によって製造した後、鈴木金属工業(株)の実機ラインを用いて310K級の高強度PC

表1 コンクリート強度区分  
Concrete strength repartition

Repartition	Fc
Regular	18 - 35 N/mm <sup>2</sup> (Fc18 - Fc35)
High-strengthened	36 - 60 N/mm <sup>2</sup> (Fc36 - Fc60)
Super - high-strengthened	60 - N/mm <sup>2</sup> (Fc60 - )

表2 供試材の成分  
Chemical compositions of samples

Strength	Chemical composition (mass%)					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
310K High-strengthened	0.98	1.20	0.33	0.010	0.005	0.19
270K Regular	0.83	0.19	0.74	0.014	0.013	0.01

表3 供試材の撚り線の機械的性質  
Mechanical properties of the stranded cable of the samples

Strength repartition	Tensile strength (MPa)	Yield-strength (MPa)	Yield ratio (%)	Elongation (%)
310K	2 179	2 035	93.4	6.4
270K	1 920	1 768	92.1	6.6

銅より線を製造した。このPC鋼より線の機械的性質を表3に示す。

(2) 試験方法

使用材料は、コンクリート(基準設計強度:40N/mm<sup>2</sup>)、PC鋼撚り線、補強鉄筋(道路示方書に従い床版の上縁および下縁の支間方向・支間直角方向に配置)、PC鋼定着金物などである。

PC鋼撚り線は、単純支持間隔2.2mの径間中央に10 tonfの集中荷重(10トン輪荷重想定)を作用させたときにコンクリート応力が許容範囲内に収まるようなプレストレスを与える。試験体2体の概略諸元を表4に示す。21.8mmφ270K材を使用したオーソドックスなREG-A(図7)に対して、総プレストレス量が等しくなるようにHI(21.8mmφ310K)のPC鋼材配置間隔を設定した。荷重は図8に示すように、支持間隔L=2200mmに対して中央からの偏心距離x=0, L/8, 2L/8, 3L/8の4パターンで実施した。載荷荷重はx=0, L/8のパターンでは0→5→0→10→0→15→0 tonfの手順で、x=2L/8, 3L/8のパターンでは0→5→0→10→0→15→0→20→0 tonfの手順で暫増暫減載荷を行ない、各位置の変位と歪を計測した。

(3) 試験結果

床版製作において、撚り線緊張に伴い定着部付近のコンクリート

表4 載荷試験体の概要  
Overview of the load-test body

		REG-A	HI
Name of load-test body		270K	310K
Diameter of strand	mm	21.8	21.8
Spacing of reinforcing steel	cm	25	28.6
Stress of PC strand	kgf/cm <sup>2</sup>	137.4	152.8
Axis force of PC strand	tonf	40.3	45.7
Concrete stress (upper side)	kgf/cm <sup>2</sup>	134.6	164.5
Concrete stress (lower side)	kgf/cm <sup>2</sup>	10.9	10.8

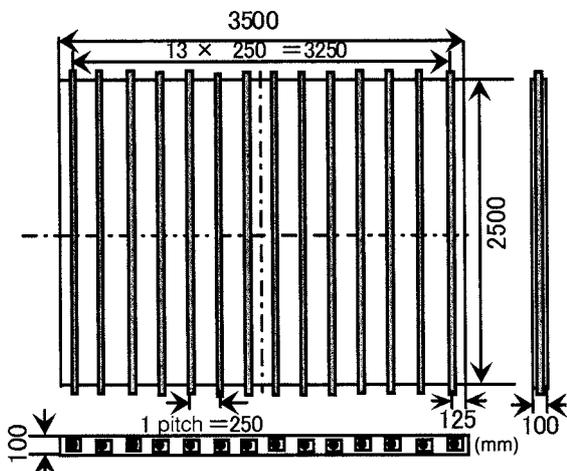


図7 試験体概略図  
Sketch out of the load-test body

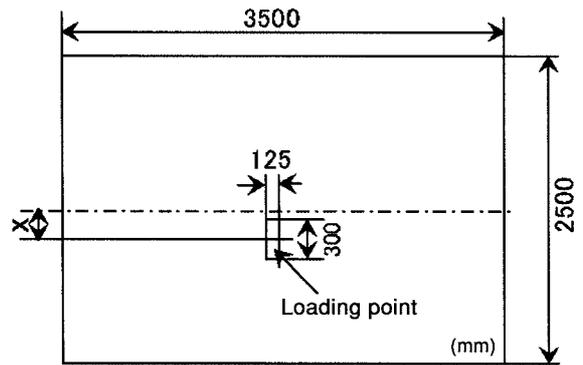


図8 載荷点の模式図  
Schematic of the loading point

表面歪の変化状況を測定した結果の一例を図9に示す。図より、緊張作業終了時には均等にプレストレスが導入されている状況が把握できる。x=0(中央位置)載荷パターンでの荷重-載荷点擁み曲線を図10に示す。2つの試験体はいずれも設計荷重(中央位置に10 tonf 載荷)レベルまでは、ほぼ線形挙動を示しているが、15 tonfまで荷重を上げると若干非線形挙動を示し始めた。表5に各試験体の4つの載荷パターンでの最大荷重時での載荷点位置の擁みをまとめた。310K高強度材(HI)の床版剛性は270Kレギュラー材(REG-A)と比べて5~18%高い。

以上に示す結果から高強度PC用鋼材として従来の270Kから310Kに強度を引き上げてプレストレス量を一定にした場合、コンクリートとの相互作用は従来と同等の特性を有する緊張効果が得られることが判った。この結果は表4に示すようにPC鋼材の強度向上に比例して配筋する鋼材間隔を広げる効果に繋がるため、総合的にPC床版の製造コストの低減化および工期短縮化に寄与できることが判明し

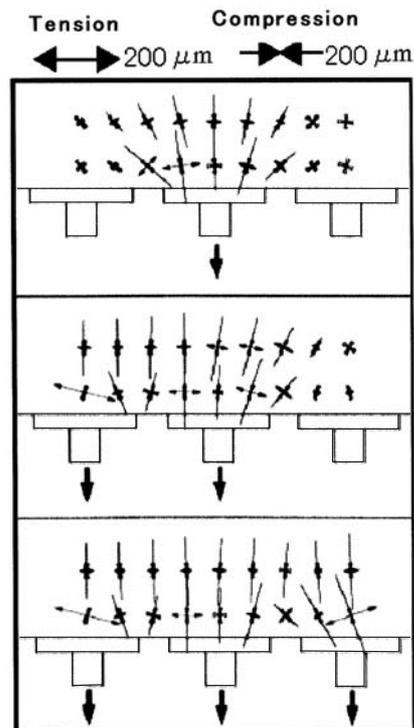


図9 撚り線緊張時の床版上面主歪分布(310K)  
Distorted deck slab surface main distribution in case of the stranded cable tension (310K)

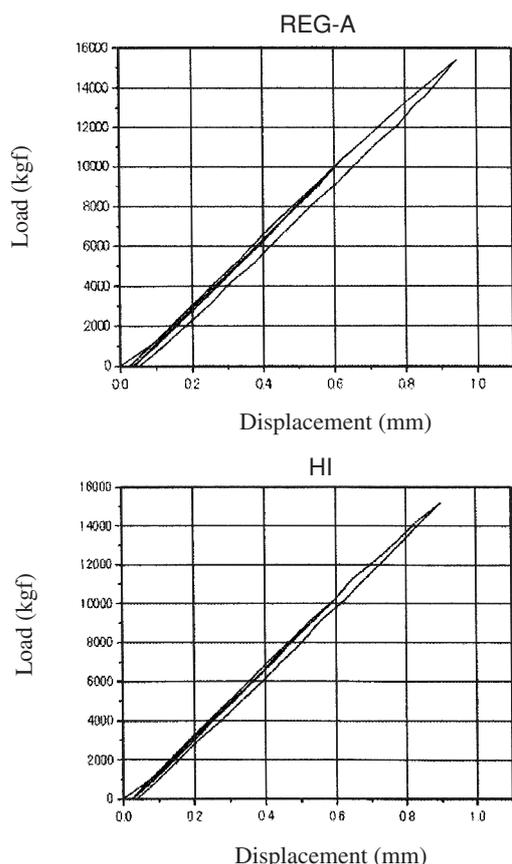


図10 荷重一載荷点撓み曲線  
Load - bend curve on loading point

表5 載荷点のたわみ  
Bend of the load point

Load point, load	REG-A	HI (ratio of REG-A)
0/8L, 15 tonf	0.95 mm	0.90 mm (-5.3%)
1/8L, 15 tonf	0.92 mm	0.82 mm (-11%)
2/8L, 20 tonf	0.77 mm	0.68 mm (-12%)
3/8L, 20 tonf	0.39 mm	0.32 mm (-18%)

た。本結果は机上検討でも予測できる関係であるが、実際にPC床版を製作してその効果を見極め明らかにすることが出来たのは素材メーカーとして次への一歩を確実に進めていくための貴重な情報となった。

一方、コンクリート業界の技術は急激に進歩しており、1955年代の基準設計強度はFc18程度であったものが、現在ではコンクリートの製造技術の向上と共に強度の増加が図られ、一般の集合住宅においてもFc30前後が利用されている。さらに30階を超える高層集合住宅ではFc60以上の超高強度コンクリートが利用され始めた<sup>6)</sup>。

特に通常強度の3～5倍の強度を有する超高強度コンクリートの出現により1997年以降は基準設計強度が $100\text{N}/\text{mm}^2$ を超えるものも

出始めた。これに伴ってPC補強用鋼材のさらなる高強度化ニーズも益々高まり、310Kからさらに強度アップを図った324Kシリーズの実用性能評価を設計基準強度が $120\text{N}/\text{mm}^2$ の超高強度コンクリートで行う機会に恵まれ、世界で最初の超高張力コンクリートと高強度PC鋼より線とのコラボレーションが実現して商品化された例を紹介する<sup>7)</sup>。

### 3.2 PC鋼より線のさらなる高強度化(324K)

#### 3.2.1 324K級PC鋼より線の成分

さらなる高強度化を狙って強度が324K(通常270Kに対して2割アップの強度となる)に供した成分を表6に示す。本規格のPC98は君津製鐵所線材工場のDLPラインを用いて製造された線材であり、特徴は310Kの成分をベースにして製造工程能力をさらに高めるため微調整した成分系を用いた。324K級PC鋼より線の製造は住友電工スチールワイヤー(株)の実機ラインにて製作を行った。

#### 3.2.2 高強度PC鋼より線の仕様と機械的性質

高強度PC鋼より線の仕様を表7に示す。また、PC鋼より線の機械的性質を測定した結果を表8に示す。図11にはPC鋼より線の引張試験時の荷重一伸び曲線を示す。この結果から判るように324K級の超高強度PCストランドは従来の270K級のPCストランドに比べて20%荷重が増加することが確認できた。また、伸びは従来品と同等レベルであることが判った。

また、PC鋼より線は外ケーブルとして使用される場合、腐食防止のためにエポキシ樹脂コーティングなどが施される。324K級の超高強度PCストランドにエポキシ樹脂コーティングを行っても表8に示すように機械的性質への影響はないことが確認された。また、紙面制約の関係上、定着効率、リラクゼーション値、ウェッジ定着疲労特性などについては割愛するが、これらの基本性能においても土木学会基準<sup>8)</sup>を十分に満足していることが確認された<sup>7)</sup>。

### 3.3 324K級超高強度PCストランドの実用化例<sup>7,9)</sup>

東京都の秋葉原駅前“秋葉原クロスフィールド”と称される再開発事業が都市開発計画の一環として行なわれ2006年2月に完成した。この計画の中で、駅前広場と主要なビルを繋ぐスマートなデザインの公共デッキに世界で初めて超高強度PCストランドが採用された<sup>9)</sup>。超高強度PCストランドを設計に用いるニーズは、交通量の多い駅前広場に設置する、橋脚数の制約を受けるところにあり、2径間で最大スパンを33.2mかつ桁高さ1.2mを有するスレンダーなデッキを実現する必要があった。しかも使用されるコンクリートは設計基準強度が $120\text{N}/\text{mm}^2$ の超高強度コンクリートの使用が予定されたため、補強するPC用鋼材の強度も通常270Kに対して入念な事前評

表6 供試材の成分  
Chemical compositions of sample metal

Metal	Strength	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	V
	repartition								
PC98	324K	1.00	0.87	0.41	0.013	0.002	0.022	0.21	0.07

表7 高強度PC鋼より線の仕様  
Specifications of the super high-strengthened PC strands

	Diameter (mm)	Nominal cross-sectional area (mm <sup>2</sup> )	Tensile load (kN)	Yield load on 0.2% (kN)	Strength (N/mm <sup>2</sup> )
Super high-strengthened	15.2	138.7	≥ 313	≥ 266	≥ 2 230
Regular	15.2	138.7	≥ 261	≥ 222	≥ 1 860

表8 PC鋼より線の機械的性質  
Mechanical properties of the super high-strengthened PC strands

	Tensile load (kN)	Elongation (%)	Yeild load on 0.2% (kN)
Regular 15.2 mm $\phi$	272	7.2	243
Super high-strengthened PC strand	326	7.7	289
Super high-strengthened epoxy coated PC strand	329	7.1	297

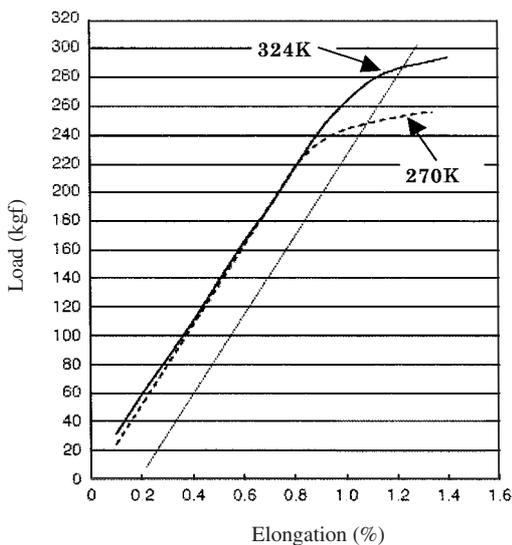


図11 引張試験時の荷重-伸び曲線  
Load - elongation curve at the time of the tensioned test

価の末324Kの高強度材が選択された。

表9にこの再開設計画で設置された公共デッキの仕様を示す。本計画により超高強度PCストランドと設計基準強度が $120\text{N/mm}^2$ の超高強度コンクリートとのコンビの場合においても、先に述べた設計基準強度が $40\text{N/mm}^2$ の場合と同様に基本性能は十分に発揮できることが確認された<sup>9)</sup>。写真2に公共デッキの外観写真を示す。桁高さ1.2mで全体の景観はスリムでスマートな印象となっている。写真3は桁下部の外観を示しており横締めおよび主筋の高強度PCストランドの配筋状況を示す。以上の結果から超高強度コンクリートと高強度PCストランドの関係は相互の利点を損なうことなく利用できる複合材料であることが判明した。

### 3.4 高強度PWS

橋梁用PWSの高強度化ニーズは橋梁の長大化に伴い、高強度材料の需要が高まり、従来の $5\text{mm}\phi$  -  $160\text{kgf}$ の強度から $5\text{mm}\phi$  -

表9 公共デッキの仕様  
Specifications of the public deck

(1) Bridge type	PC continuous two span
(2) Type of main girder	Super high-strengthened concrete II girder
(3) Activate load	Crowd load
(4) Bridge length	63.803 m
(5) Girder length	63.403 m
(6) Center span	4.087 + 25.762 + 33.205 m
(7) Width	8.8 m
(8) Fc	$120\text{N/mm}^2$



写真2 公共デッキの外観写真  
Outward appearance photograph at the public deck



写真3 桁下部の外観写真  
Outward appearance photograph in the digit lower part

$180\text{kgf}$ まで引上げられ、20世紀最大のビッグプロジェクトとして明石海峡大橋の建設が行なわれた<sup>2)</sup>。そして、明石海峡大橋の次のビッグプロジェクトとして長年注目されていたイタリアのメッシナ海峡大橋(センタースパン3300m級の長大橋)は、極最近の情報(2006.10)で建設中止になったとのことであり、同プロジェクトは夢の長大橋と化した。図12に橋梁材料強度とセンタースパンの関係を示す。

一方、斜張橋の長大化の流れは着実に進展しており、高強度材の需要が徐々に増加していくと考えられる。実際に表10に示すように最近の実績にその傾向が顕著に現れている。この動向から明らかなように斜張橋においてもスパンの長大化は着実に進んでいることがわかる。本章では最近の斜張橋の長大化に伴って高強度PWSの需要が高まっていく技術動向を受け、DLP線材によって製品化された $7\text{mm}\phi$ 、 $1770\text{MPa}$ 級のPWSワイヤが仕様に入れられ、現在建設中の物件を紹介する。

#### 3.4.1 成分

供したDLP線材の成分を表11に示す。高Si系の過共析鋼をベース成分にし強度増加のためにCrを添加した成分系を用いてDLP処理を行って線材に圧延した。その後、伸線〜めっきまでの製造工程は東京製綱株の実機ラインを用いて $7\text{mm}\phi$ 、 $1770\text{MPa}$ 級のPWSワイヤの製造を行った。

表10 斜張橋の支間長  
Span length of the cable-stayed bridges

Rank	Tensile strength	Name of bridge	Center span	Complete year	Country
1	High-strengthened	Sutong Yangtze River	1 088	Under construction	China
2	High-strengthened	Stonecutters	1 018	Under construction	China
3	Regular	Tatara	890	1999	Japan
4	Regular	Normandy	856	1995	France
5	High-strengthened	Incheon	800	Under construction	Korea

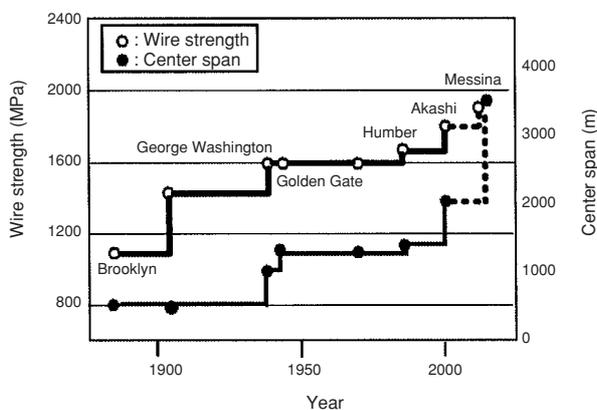


図12 橋梁用鋼線強度とセンタースパンの変遷<sup>2)</sup>

Changes of the steel cable strength for the bridge and the center span



写真4 ストーンカッターズ橋の完成イメージ図  
Complete image figure at the stonecutters bridge

表11 7 mm φ, 1 770MPa級PWSワイヤーの成分  
Chemical compositions of the class PWS wire of 1 770 MPa of 7 mm φ

Metal	C	Si	Mn	P	S	Cr
S87AM	0.88	1.03	0.40	0.012	0.007	0.23

### 3.4.2 線材および鋼線の機械的性質

線材および鋼線の機械的性質を表12に示す。DLP線材の引張強さは1 434MPaであり、この後伸線加工を実施後に溶融亜鉛めっきが施されて製品化される。最終のめっき鋼線の引張強さは1 896MPaとなり7 mm φ, 1 770MPa級の高強度PWSワイヤーの強度を満足することが確認できた。一方、延性の代表値として捻回値は平均で24回を示し、明石海峡大橋の仕様を満足し安定した延性を具備していることが確認できた。

### 3.4.3 適用物件例

次に斜張橋の高強度化の具体的な例を示す。前述の表10に記載した橋の中で世界第2位(Stonecutters橋：香港)と第5位(Incheon橋：韓国)の物件の高強度材(7 mm φ, 1 770MPa)が採用され現在建設中である。写真4にストーンカッターズ橋の完成イメージ図を示す。

表12 高強度PWS(7 mm φ, 1 770MPa級)の機械的性質  
Mechanical properties of high-strengthened PWS (the class of 1 770MPa of 7mm φ)

Metal	Rod	Galvanized wire		
	Tensile strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Number of twist	
			Ave.	Min.
S87AM	1 434	1 896	24	20
Specification		1 770 / 1 960	≥ 12 times	

## 4. 結 言

DLP線材を従来の需要家で実施されるLP処理の代替ニーズや環境に優しい線材としてのみの使用に留まらず、本来の材料特性である高強度－高延性に軸足を置いた材料開発が今後、益々、重要となる。特にプレストレストコンクリートの高強度化は、近年、目を見張る技術革新が進められており、鋼材の高強度化技術とのコラボレーションによりさらに優れた複合材料を生み出せる可能性があると考えており、今後ともさらなる高強度化を目指して不断の開発活動を展開していく。

## 5. 謝 辞

高強度PCストランドの実機製作および評価にご協力頂いた鈴木金属工業(株)および住友電工スチールワイヤー(株)ならびに高強度PWSの実機製作評価に協力頂きました東京製鋼(株)の関係各位に対して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) Tomas Berntsson: Wire journal international. 37(5), 82(2004)
- 2) 松本弘輝: 鋼橋塗装. 17(3), 14(1989)
- 3) 樽井敏三, 西田世紀, 吉江淳彦, 大羽浩, 浅野巖之, 落合征雄, 高橋稔彦: 新日鉄技報. (370), 45(1999)
- 4) 落合征雄, 大羽浩, 飛田洋史, 南雲道彦: 鉄と鋼. 174(8), 107(1988)
- 5) 杉本雅一, 市原哲也: 土木学会年次学術講演会講演概要集第1部. 56(A), 2001, p.342
- 6) 天谷公彦 ほか: プレストレストコンクリート技術協会. 第14回シンポジウム, 2005, p.483
- 7) 前川智哉, 市来隆志, 仁木敏彦, 松原喜之, 山田真人, 河部望, 村井照之: SEIテクニカルレビュー. 168(3), 107(2006)
- 8) (社)土木学会: プレストレスト工法設計指針. コンクリートライブラリー. 66, 1991
- 9) 岡本裕明 ほか: 橋梁と基礎. 39(8), 10(2005)