

PC 鋼材の研究について

理事 吉野 政 次

まえがき

筆者は PC 鋼線とストランドの生産に永年従事しているもので、したがって、ここにいう PC 鋼材とは PC 鋼棒を含んでいないこととなるが、内容は PC 鋼棒にも相通ずるものと信ずる。

昭和 27 年現在の極東鋼弦コンクリート振興株式会社が設立される前後から、わが国の PC 鋼線は本格的な試作研究に入ったのであるが、できるだけ高抗張力であって、同時に降伏比の高いことを要求され、技術家としては戦後の技術的低調を破る興味ふかいものとして最大の努力を払ったものである。当時すでに、現在の JIS に制定されている内容にほぼ近似した規格を採用したのであるから、舞台裏では多分に危険性が存在したわけで、線材の研究はもとより、冷間加工全般にわたって再出発する思いで研究にあたり、厳重な品質管理を行なったことはまだ記憶に新しいものである。それでもなお痛い苦情が発生し、また工場内には検査不良の製品が累積して納期の切迫に苦渋したものである。規格制定の当初は 5.0

mm 鋼線が最大径であったが、昭和 30 年 9 月には 7.0 mm 鋼線を制定し、今春には 8.0 mm 鋼線を制定するに至った。

試作に着手した当初はリラクセーション試験も不可能で、オルゼン式抗張力試験機を応急に改造して研究検査にあたったが、昭和 31 年には自動調制かつ記録式の専用機を完成し、その後ようやく本格的な研究段階に入ったというべきである。ここに PC 鋼材のメーカーとして、その研究点につき二、三の所感を述べることにしたい。

1. PC 鋼材の強度上昇, 増径について

PC 鋼線の製造法としては現在冷間引抜き後必ずみ除去焼鈍を行なうものが 100% を占めている。したがって、線径の大なるものほど高抗張力を保有せしめることは困難であるから、PC 鋼線あるいはストランドの強度上昇と増径の問題は、技術的には同一に帰すべき性格で、要は単位断面積あたりの強度とその単価のいかに帰することとなる。

オイル テンパー熱処理により製造される PC 鋼棒に

表-1 PC 鋼線各種規格比較表

規格名	寸法・重量	引張特性		靱性		リラクセーションクリープ	備考
		引張強さ 引張荷重	降伏強さ	伸び	屈曲		
日 JIS G 3536 -1960	2.0±0.03 mm	650 kg	$\sigma_{0.2}$ 575 kg	破断時 mm >3.5/200		降伏荷重の80%の初期荷重で10時間後に3.5%以下	プレテンション用点食を起こさない程度のサビは可
	2.9±0.03	1300 kg	1150 kg	>3.5/200			
本 極東鋼弦コン クリート振興 (株)	5.0±0.05 mm	kg (kg/mm ²) 3300 (168)	$\sigma_{0.2}$ kg/mm ² 2900 (148)	4.5/100 mm	6回/10 R	$\sigma_{0.2} \times 80\%$ 10 hrs <3.5%	同上、および直線性保証
	7.0 "	6150 (160)	5350 (139)	5.0/100 mm	" /15 R		
	8.0 "	7850 (156.3)	6800 (135.3)	"	" /17 R		
米 ASTM A 421-59 T	4.88±0.05 mm	(BA) (WA) — 176 kg/mm ²	$\sigma_{1.0}$ (BA) (WA) — 141 kg/mm ²	破断時 >4.0/10 mm			BA 型はボタン加工可能のこと 円弧の直径が3.66m以上
	4.98 "	169 176	135 141	"			
	6.35 "	169 169	135 135	"			
	7.01 "	— 165	— 132.2	"			
英 B.S. 2691 Part 1 : 1955	7.01±0.05 mm	kg/mm ² 150.4~173.2	TSの70%に おいて永久伸 びが0.1%以 下		4×90°/20 R		重量計算 7.842 g/cm ² 要求に応じ十分に 大きいコイルにする
	5.08 "	157.5~181.1			" /15 R		
	4.06 "	173.2~196.8			" /12.5 R		
	3.25 "	189.0~212.6			" /10 R		
	2.64 "	204.7~228.8			" /7.5 R		
	2.03 "	220.5~244.1			" /5.0 R		

においては、この傾向は多少異なるが、やはり直径の大なるもので、かつ高強度を要求することは困難となり、かつ単価の上昇をとめない、結局現在以上を望む場合にはPC鋼線あるいはストランドと同様な困惑に直面することとなる。

現在の JIS および極東鋼弦 コンクリート 振興株式会社制定の規格を米国、英国のものと比較すれば表-1のごとくで、わが国のPC鋼線あるいはストランドは世界においてもほぼ最高級に位するものであることがうなづける。これらの強度をさらに上昇せしめること、あるいは同抗張力で増径が可能であるかどうかについては、しばしば需要者側から照会されることで、われわれ製造業者としても責任上重要な研究点であることを認識するものであるが、遺憾ながら現在の規格は工業的生産上最高限度にあるものといわねばならない。新しい冷間加工用の特殊鋼材の発見か、あるいはオースフォームング (Ausforming) のごとき特殊の熱処理加工が工業的に完成されれば、あるいは飛躍の道がひらかれるかと考えるが、現在のところ全く夢に等しいと思われる。

不満足な見とおしであるが、材料および加工はともに物理化学的な挙動の結果であるから、無理をいってもやむをえないことである。しかし単線の場合、8.0 mm 鋼線が生産しうる現状で、9.0 mm 鋼線が不能というわけではなく、また線径が 12 mm ぐらいまではコイル状に巻取った形状で生産できると考えられるが、これらの線径はもはやストランドの範囲に属すべきもので、強度および品質のうえにおいてもさることながら、製造上あるいは取扱い上困難となって経済性を失なってくる。せいぜい 9.0 mm か 10 mm 鋼線が考慮されるが、この場合抗張力は、9.0 mm 鋼線が 145 kg/mm^2 、10 mm 鋼線が 135 kg/mm^2 程度に低下する。降伏比は 8.0 mm 鋼線までと同様であることが期待されるが、このような低抗張力では PC ストランドにくらべて強度の低下は 17~22% に達して PC 鋼線として魅力を失なったものというべきである。

2. PC 鋼材の研究点

PC 鋼材の研究において強度にその上昇を期待しにくいことは研究対象として魅力の半ばを失なったことと考えられるが、前述したように、わが国では本格的な研究段階に入ってからわずかな年月しか経過していないので大小の諸種の問題が研究を必要としている現状である。

リラクセーション、応力腐食、などは根本的に許容値を求める必要があり、また製造法による様相の相異を明らかにして最後にはこれらを反映した製造法あるいは規

格に完成しなければならない。

このように述べると現在の製造法に疑念を抱いていることとなるが、冷間引抜き後ひずみ除去焼鈍を施したものが、高抗張力鋼線の製造に最も安定した方法であることはもちろん、リラクセーション、応力腐食に対しても極小あるいは安定したものであることは、ほぼ疑うべくもない定説で立証している文献も少なくない。ただ PC 鋼材として最も要求される長寿命、すなわち長期におけるリラクセーションの大いさ、あるいは応力腐食の影響について、より明らかにする必要があるものである。

このような意味で PC 鋼材メーカーとして将来さらに深い研究を要すると思われるものは次のごとくである。

(1) リラクセーションに関する研究

リラクセーションの長期試験は、なにしろ少なくとも 2 年、3 年を要するので精巧な試験装置では、かえって途中において事故を起こしやすく、九仞の功を一気に欠く始末である。このため最近、初荷重を規定荷重より大にすることあるいは高温試験を併用してリラクセーション値の大となる部分を探求して代用することが考慮されているが、はなはだ興味ぶかいものである。

リラクセーションの傾向を知るには十分役立つわけでも、また、その大いさを推定することも多くの試験結果をもちよれば可能であろうと考えられ、このような簡便法を採用すれば今後比較的容易に製造法あるいは緊張法の長期リラクセーション値に与える影響がキャッチできる。

問題点は、長期試験においてリラクセーションが飽和するかどうかであるが、これが鋼材の製造法によって様相を異にして、ある製造法によるものは飽和するが、あるものは飽和しないとの結論にでもなれば問題はむしろかしくなる。もっとも飽和しないとしても、そのリラクセーション曲線の傾向すなわち 100 年後の値、200 年後の値が適確に推論できれば、それが許容されるかどうかは判定されるわけで要は正確な値を手にすることである。

現状では、リラクセーションによるプレストレスの減少量はコンクリートのクリープおよび乾燥収縮によるプレストレス減少量を加味してほぼ 15% までとみなされて設計時に折込まれ安全視されているが、導入応力が逐時大となる傾向の現在やや疑問視すべきものと考えられる。また、しばしばコンクリートのクリープおよび乾燥収縮によるプレストレスの減少量が大きいから、鋼線のリラクセーションによるプレストレス減少量は懸念があたかもないかのごとき論を聞くことがあるが、はたしてそうならば長期リラクセーション試験のごとき困難なる問題に大きな労力を払うことは意義が薄弱となり、単なる学術的研究価値に終るのみとなる。

(2) 応力腐食

PC鋼材のごとく高強度の鋼材は応力腐食に対して敏感であることは周知されているが、応力腐食試験も長期リラクセーション試験と同様に容易ではない。実際上はリラクセーションと同様、長期における挙動を調査することが必要であるが、実験方法として促進試験を採用せねばならない。促進方法としては腐食条件の激化あるいは応力を増大することが考慮されるが、このような実験結果では応力腐食に対する感受性を比較しうのみで、これらの結果と実際に懸念される腐食条件下の応力腐食との相関性を知ることが、はなはだ困難であろうと考えられる。しかし、これらの相関性を知ることができなければ実際には枯尾花に驚く弊害に陥りやすいこととなり貴重な研究結果を効果的に生かすことは不可能である。したがって相関性を見出すことが峠となるものであろう。

実際上、応力腐食を懸念する必要がある場合を想定すれば、海水その他腐食性液を混合する水中に浸漬される場合あるいは工場、鉱山、都心のごとく亜硫酸ガス、または塩酸、硫酸の煙霧のごとき化学性腐食気圏にさらされる場合であるが、それにしてもプレストレスト コンクリートの通水性、あるいは通気性、また実用されているプレストレスト コンクリートに、これらの条件を促進せしめるときき微細なきれつが発生しているのかどうか大きな前提条件となる。使用場所によるためとか設計上の安全度が低いとか、あるいはコンクリートの施工法により応力腐食は真に危惧すべき問題と考えられるならば、鋼材として現在のごとく裸物のみを使用することは、あまりにも無策すぎることで、亜鉛メッキ物を考慮すべきである。幸いコンクリートは、相当強いアルカリ性で鋼材の腐食はほとんど懸念を要しないから、裸物を使用するに、さして危惧を抱かないのが通常であるが、はたしてそれで正しいのか確認したいところである。

(3) 鋼材の発錆が諸性質におよぼす影響

PC鋼材のみに限らず、鋼材は大気中で速やかに発錆現象を呈するが、その諸性質におよぼす影響は明瞭に確認されるべきである。

発錆はあきらかに腐食の開始を示すもので、腐食鋼材がじん性を失ない同時に耐疲労性に劣ることは周知の事実である。ことにプレテンション用PC鋼材は、コンクリートに埋め込まれる前にボンド上昇を目的として、通常錆つけ作業が実施されるが、錆つけは発錆せしめることを目的としたもので、したがってボンドを上昇せしめる範囲の発錆にとどめるべきで、この程度を越すとあきらかに寿命に対して有害な影響を与える。しかし、この問題についても無用に神経をかきたてるべきでなく、その

限度を心得て善処すべきであるが、限度と確認の方法ははなはだ困難を感じるものである。現在標準とされているピッチングを起こす程度までを可とすることでよいかどうかを、まず検討せねばならない。もし不可であるならば発錆の過程において危険範囲を予知する指標を求めることに努力せねばならない。

3. 研究態勢

以上にかかげた二、三の研究点を再考するに、もとより鋼材メーカーが主として担当すべきであるが、鋼材メーカーのみでは学術的意義は別として、真実にプレストレスト コンクリート工業に役立つ研究成果をあげることは困難であることがわかる。すくなくとも労力が多くて価値の少ないものに終りやすい。

結局、PC鋼材に対するのみでなく、プレストレスト コンクリート部材を試料とした一貫した研究でなければならない。これは簡単なようで、実際においては実現困難で、試験設備の完備も経費的に負担が大であるが、研究技術においても同様の困難をとまうものである。すなわち、PC鋼材メーカーが完成試料であるプレストレスト コンクリート部材を設計あるいは作製する技術を併有し、かつ適切なる実験条件を求めることは残念ながら容易ではない。コンクリート部材に対する実験は、あきらかにコンクリート工業に従事する各位の研究範囲に属することで、したがって両業者の共同研究態勢を考えたいこととなる。

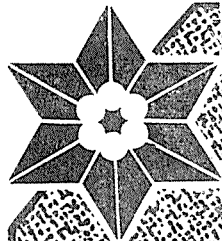
さらに、官公庁の研究機関のごとき、充実した研究技術と設備を有するものを中心とした研究態勢が考慮されれば最も望ましいものである。もちろん現在でも官公庁の研究機関において、それぞれ基礎的な研究が実施され、その状況はすくなくも他部門より活発であるかと考えられるが、それにしても総合的かつ一貫したものといにくいと信ずる。僭越な言及であるが、わが国の現状ではすべての方面において同様な状態が存在するのではないだろうか。民主的國家の弊害とのみ捨ておけないように考えられる。

あとがき

プレストレスト コンクリートの目ざましい進出は、今日わが国においても確定的なものとなり、実用領域が年々広範囲におよびつつあることは、関係者の一員として慶賀にたえないものである。同時に筆者はPC鋼材の生産に従事するものとして研究開発の責任を痛感するものであるが、その使命を果たすことは上述のように容易なものではない。幸い各層の識者から御指導を仰ぎ、かつ同友とも緊密な連繫を保ち、使命の一端を果たすことを念願とするものである。

(筆者：神鋼鋼線鋼索KK常務取締役) 1962.8.9・受付

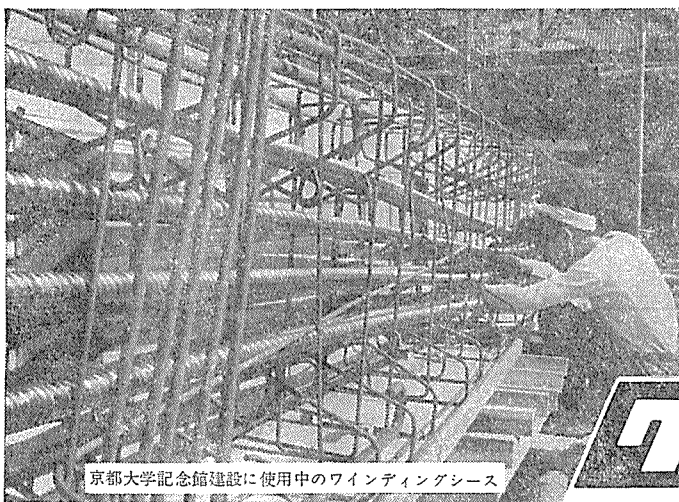
東京製網製品



PC WIRE & STRAND

製造元 **東京製網株式会社**
発売元 **東網商事株式会社**

東京都中央区日本橋室町2丁目8番地 古河ビル四階
電話 (211) 2851 (大代表)



京都大学記念館建設に使用中のワインディングシース

P.S.コンクリート用 ワインディングシース

西独シュベルマー社との提携によって生産する

- ・管厚が極めて薄い
- ・強度が高い
- 特長
- ・簡単に接続出来る
- ・費用が節減される
- ・管の長さが自由にとれる

ワイモト

販売特約店 日本産業機械株式会社

東京都中央区日本橋浪花町8 電話 (661) 5942~3
電話 (661) 7468・7488
大阪市西区立売堀北通1の30丸栄ビル内 電話(54)5201~6
倉庫 東京都練馬区中村町北2の2 電話(991)3804



株式会社 栗本鐵工所

大阪市東区唐物町4 TEL 大代表 3431
東京・小倉・名古屋・札幌



鳴尾~武庫川間の新設橋梁に使用のワインディングシース