

1章 概要

1.1 研究の背景

PC 鋼棒に溶接などにより入熱を加えた場合、熱影響によって耐荷力が著しく低下することが一般には知られている。一方、コンクリート工事などの施工の過程において架設用の仮設部材や治具等の取り付けや位置決めなどの目的で、PC 鋼棒を鉄筋や種々の鋼材と溶接で固定するケースがみられる。また直接溶接を行わないまでも、PC 鋼棒の近くで行われるガス切断で飛散した火花などによって PC 鋼棒に相当の入熱が加えられるケースもある。

PC 鋼棒が入熱によってその機械的特性を著しく損なう熱影響の存在については、これまでも経験的に広く知られており、過去には実験的な検討も行われている¹⁾。

しかし、具体的な影響の程度が、その条件によっても大きく異なることに加えて、それらを定量的に明らかにした例は少ない。また、現在供給されているような新しい材料については公表された研究成果等の技術資料が少ないこともあり必ずしもその影響の程度について施工にかかわる可能性のある全ての関係者に正しく認識されていない面もある。

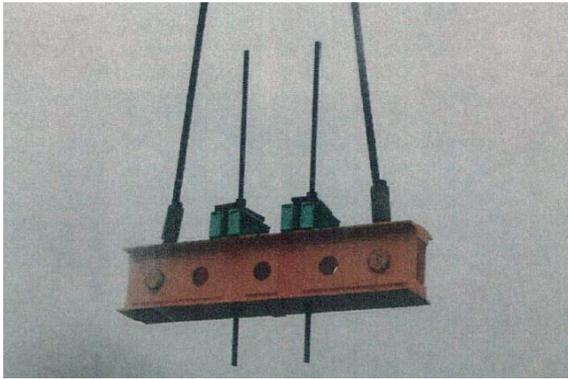
これらのことが、PC 鋼棒への入熱による悪影響の過小評価や不注意な取り扱いにつながり、PC 鋼材に不注意または故意に熱影響を与えることによる鋼材破断事故の発生や潜在的な危険性を生じさせることにもつながっていると考えられた。

本研究は、これらを踏まえて、PC 鋼棒に対する入熱の影響が正しく認識され、適切な取り扱いが徹底されることの一助とすべく、現在入手できる一般的な PC 鋼棒について、入熱による影響について実際に実験を行い検討したものである。

写真-1.1 は、道路橋の PC 桁架設工事において、工場製作のプレキャスト桁に架設用吊り材として予め桁に埋め込まれていた PC 鋼棒がクレーンによるつり上げ作業中に破断した事故の例である。この例では吊り材としての PC 鋼棒が、桁内に固定するにあたっての位置決めのために桁内の鉄筋と小規模な溶接によって結合されていた。事故後の調査の結果、PC 鋼棒の破断はその溶接位置で生じており、位置決めのためだけに施されたわずかな溶接による熱影響によって PC 鋼棒の耐荷力が著しく低下していたものと考えられた²⁾。



写真-1.1 架設用 PC 鋼棒の破断による桁落下



(a) 吊金具と破断した PC 鋼棒



(b) PC 鋼棒破断部

写真-1.2 破断した PC 鋼棒の状況

1.2 PC 鋼材

(1) 一般³⁾

プレストレストコンクリートにプレストレス導入するために用いられる高強度の鋼材[PC 鋼材(Steels for Prestressed Concrete)]は、一般には、JIS 規格化された PC 鋼線、PC 鋼より線、および PC 鋼棒の 3 種である。PC 鋼線および PC 鋼より線は JIS [JIS G 3558 : PC 硬鋼, JIS G 3556 : PC 鋼線及び PC 鋼より線] に規定され、いずれも高炭素鋼線を伸線加工して製造される。

(2) PC 鋼棒の規格

PC 鋼棒の JIS 規格は普通丸鋼 $\phi 9.2 \sim 32\text{mm}$ (JIS G 3109 : PC 鋼棒) と異形 PC 鋼棒 $\phi 7.4 \sim 13\text{mm}$ (JIS G 3137 : 細径異形 PC 鋼棒) が規定されている。PC 鋼棒の機械的特性を表-1.1 に示す。

製造方法によって、圧延鋼棒、熱処理鋼棒、引抜き鋼棒の 3 種類に分類される (表-1.2)。それぞれの鋼材に所要の特性を付与するために常温での引抜きなどの機械的操作や、焼き入れおよび焼き戻しなどの熱処理が種々に組み合わせられて施される。なお、化学成分については、JIS 規格では詳細に規定されておらず、不純物として P, S, Cu の含有量が制限されているのみであり、製造者および製品毎に詳細には成分が異なる様々な種類の材料がある。

PC 鋼棒は定着・緊張のために端部にねじ加工が施され使用される。鋼棒にねじ加工する場合には、JIS B 0207(メートル細目ねじ)に適合する転造ねじを加工することとなっている。

図-1.1 はねじ加工部の引張試験結果である。ねじを転造加工した場合、基本径 $\phi 23\text{mm}$ 以下の細径では、ねじ部の引張強度が低下し、PC 鋼棒の母材の規格値を満足できないこともあるため、試験を行って母材の引張強度を満足できることを確認することとなっている^{5),6)}。

表-1.1 PC 鋼棒の JIS 規格値⁴⁾

種類		記号			0.2%永久伸び に対する荷重 N/mm ² (kgf/mm ²)	引張り強さ N/mm ² (kgf/mm ²)	伸び (%)	リラクセー ション値*1 (%)
丸棒	A種	2号	SBPR	785/1030	785(80)以上	1030(105)以上	5以上	4.0以下
	B種	1号	SBPR	930/1080	930(95)以上	1080(110)以上	5以上	4.0以下
		2号	SBPR	930/1180	930(95)以上	1180(120)以上	5以上	4.0以下
	C種	1号	SBPR	1080/1230	1080(110)以上	1230(125)以上	5以上	4.0以下
異形棒	B種	1号	SBPDN	930/1080	930(95)以上	1080(110)以上	5以上	4.0以下
			SBPDL	930/1080				2.5以下
	C種	1号	SBPDN	1080/1220	1080(110)以上	1220(125)以上	5以上	4.0以下
			SBPDL	1080/1220				2.5以下
	D種	1号	SBPDN	1275/1420	1275(130)以上	1420(145)以上	5以上	4.0以下
			SBPDL	1275/1420				2.5以下

注) *1: リラクセーション値は、耐力の最小値の70%の荷重に対する1000時間リラクセーション値。

表-1.2 PC 鋼材の種類⁴⁾

製品名	製造方法
圧延鋼棒	(熱間圧延丸鋼) - ストレッチング-ブルーイング
熱処理鋼棒	① (熱間圧延丸鋼) - 焼入れ・焼戻し ② (熱間圧延丸鋼) - 引抜き-焼入れ・焼戻し
引抜鋼棒	(熱間圧延丸鋼) - 引抜き-ブルーイング

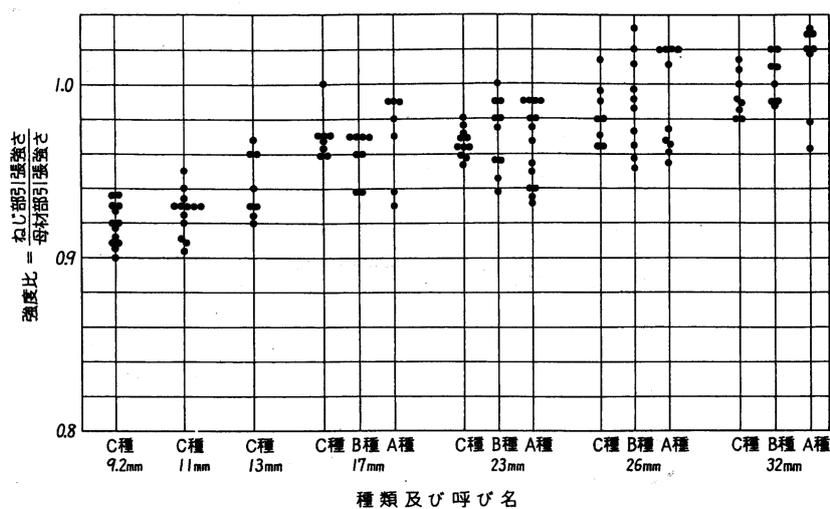
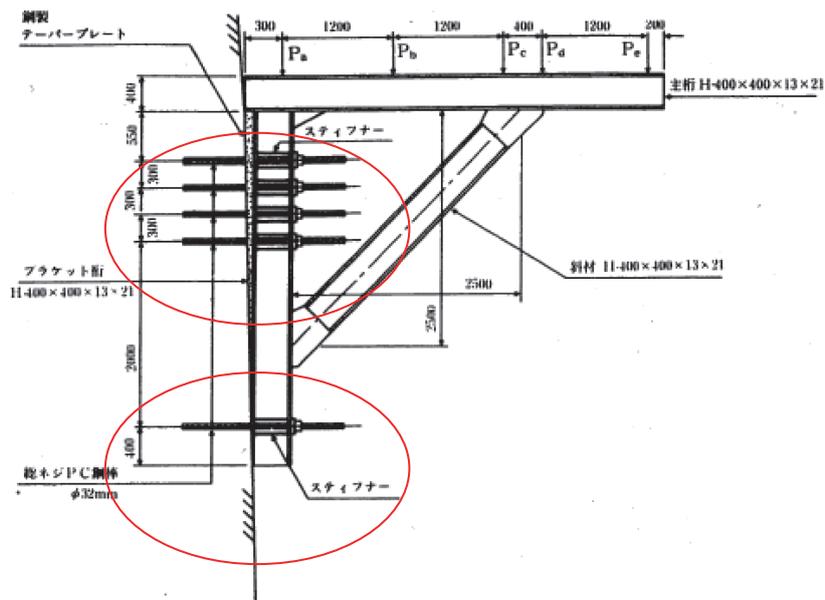
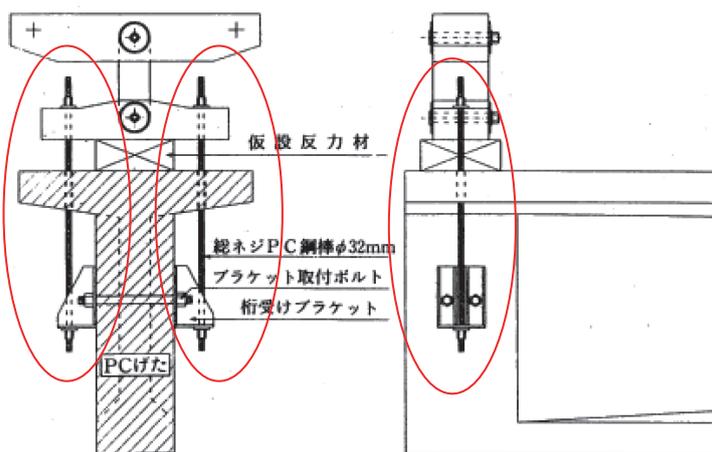


図-1.1 ねじ転造加工による強度低下の例⁶⁾

一般のPC鋼棒には、両端に定着具の取付け用に転造ねじが加工されているもの以外に、鋼棒の全長にわたってねじ状のリブが形成される総ねじ鋼棒がある。転造ねじと異なり、総ねじ鋼棒のねじ状リブは熱間加工時に成形しているため、ねじ加工による強度低下はないとされている。総ねじ鋼棒は、主にグラウンドアンカーや架設材(図-1.2)の一部として使用されている事例が多い^{7),8)}。



(1) ブラケットへの使用例



(2) PCげた吊り装置への使用例

図-1.2 総ねじPC鋼棒の架設材としての使用例⁸⁾

1.3 既往の研究

(1) 熱影響

PC 鋼材などの高強度鋼材の熱影響に関する主な既往の研究には以下のとおりである。

PC 鋼材が熱影響により損傷被害を受けるケースの代表的な例としては、PC 構造物が火災の影響を受けるケースがある。この場合には、局部が極めて高温で急熱・急冷される溶接とは異なり、かぶりコンクリートに覆われた内部の鋼材が広い範囲にわたって比較的長時間、高温環境に曝されることとなる。火災等による鋼材の高温下での機械的特性などに関しては、過去の研究 [日本鋼構造協会：鉄筋コンクリート用棒鋼および PC 鋼棒・鋼線の高温時ならびに加熱後の機械的性質 JSSC, Vol. 5, No45, pp10~62, 1969]⁹⁾で、鉄筋コンクリート用鋼棒および PC 鋼棒・鋼線の高温時の機械的性質および加熱後の機械的性質について実験されている。PC 鋼材については、高温環境に曝されるとリラクセーション量の増加、450℃～500℃の環境下に曝されると引張強度特性が低下することが実験により示されている。

最近の、PC 道路橋の火災の例としては、2001 年(平成 13 年) 11 月に、国土交通省中国地方整備局管理の道路橋 (PC 中空床版橋) が橋梁下の資材火災の影響によって被災した事例がある。この例では、床版下面のコンクリートの一部で爆裂や鉄筋露出が確認された。また、2006 年 (平成 18 年) 12 月に、国土交通省近畿地方整備局管理の道路橋 (プレテンション方式 T 桁橋) が直近の資材置き場の火災による熱影響を受けた事例がある。これらの例では直接火災が到達するなど 30 分程度、桁が強い熱影響を受けたと推定された。被災後の調査ではコンクリートに多数のひび割れや一部剥離が生じていたが内部鋼材への熱影響の程度についてはかぶりコンクリートの存在から受熱時間の推定やコンクリート強度の低下なども参考に推定が行われた。

一方、本研究で対象としたような局部が極めて高温に熱せされる条件としては、溶接棒からのアークストライク(母材に瞬間的にアークを飛ばしてすぐ切る行為などで熔融金属が飛散して他の鋼材に付着することおよびそれによる痕跡)、高温の溶接金属が落下して付着する場合、ガス切断などによる火花が飛散してくる場合などがある。

既往の研究では、これらの場合には局部が極めて短時間高温に熱せされるとともに急冷することによって鋼棒に顕著な材質変化が生じて、強度や靱性の著しい低下が生じることが指摘されている (図-1.3, 1.4)¹⁰⁾。

なお、これらの熱影響に関する研究の成果は、いくつかの技術基準類等にも反映されている。例えば、「仮設 PC 鋼材設計・施工マニュアル 平成 9 年 7 月 財団法人 高速道路調査会」には、熱影響についての注意事項が示されている⁸⁾。

その他、各製造メーカーのカタログや技術資料にも熱影響に対する注意事項は明記されている⁷⁾。

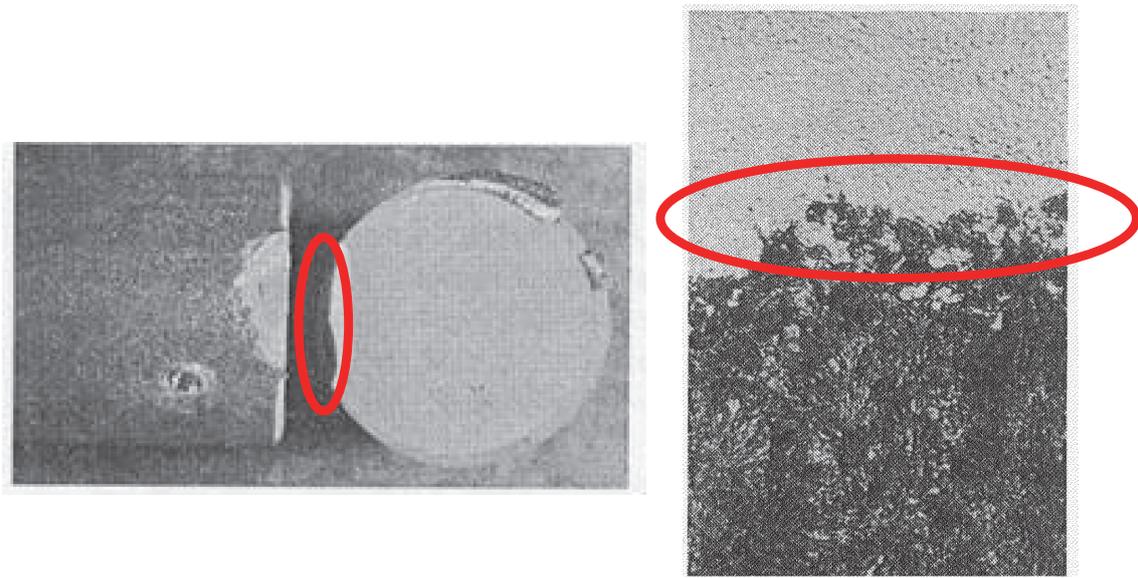


図-1.3 アークストライクによる破断面と金属組織¹⁾

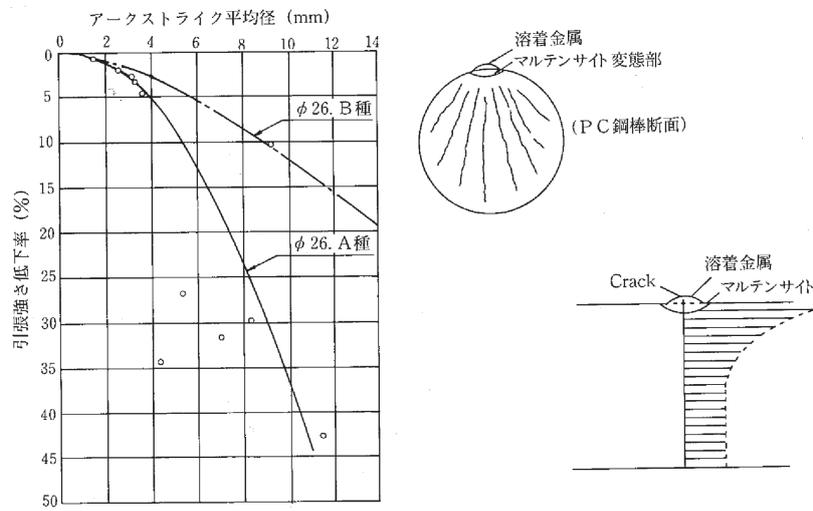


図-1.4 アークストライク径と強度低下の傾向⁸⁾

(2) 角度定着特性⁸⁾

PC 鋼棒は、通常、鋼棒の端部等でねじ式の定着部が設けられ、それらを介して鋼棒に引張力が伝達される。

このとき、PC 鋼棒はその特性から純粋な軸引張力に対しては高い強度を有するが、曲げやせん断力が同時に作用する条件では純粋な軸引張の場合に比較して低荷重で破断することが知られている。

PC 鋼棒の転造ネジによる加工部を用いて定着する場合、定着部で角度をもって引張荷重を作用させると鋼棒およびねじ部には純粋な軸引張力以外に、曲げ応力が作用することの影響もあり引張強度が低下することが知られている(図-1.5)。

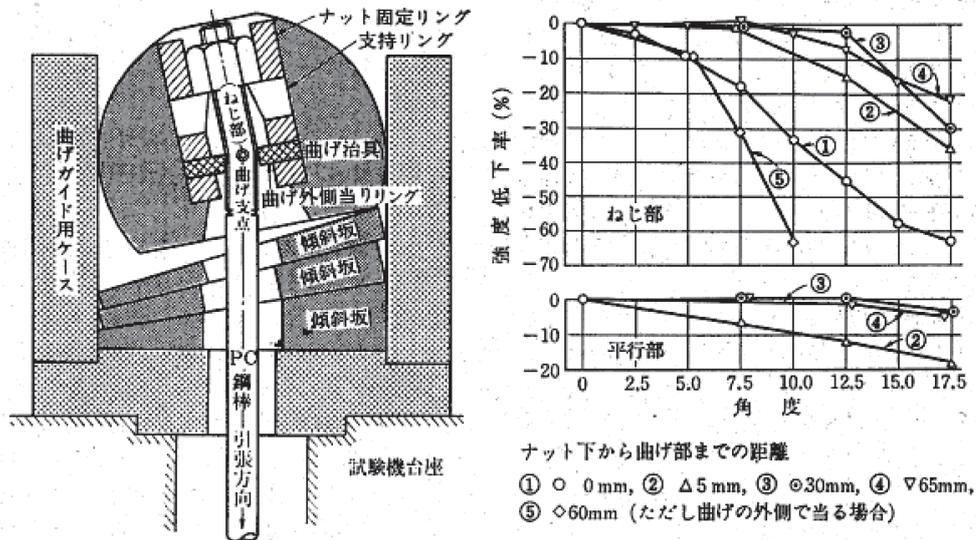


図-1.5 曲げ引張試験における強度低下率⁶⁾

総ネジPC鋼棒の角度定着（図-1.6）については、ねじ形状が転造ねじのPC鋼棒のそれに比べて緩やかであるため、定着部のナット首下部で生じるPC鋼材の屈曲による影響は転造ねじの場合に比べて少ないと考えられている。しかし角度定着によって生じる局部曲げの程度は、定着角度、PC鋼材の拘束状態、荷重の種類（例えば、衝撃荷重など）によっても異なり、基本的に種類によらずPC鋼棒には曲げが作用しない条件での引張荷重を負担させることとなっている。

本研究では、総ねじ鋼棒についても角度定着の影響について検討した。

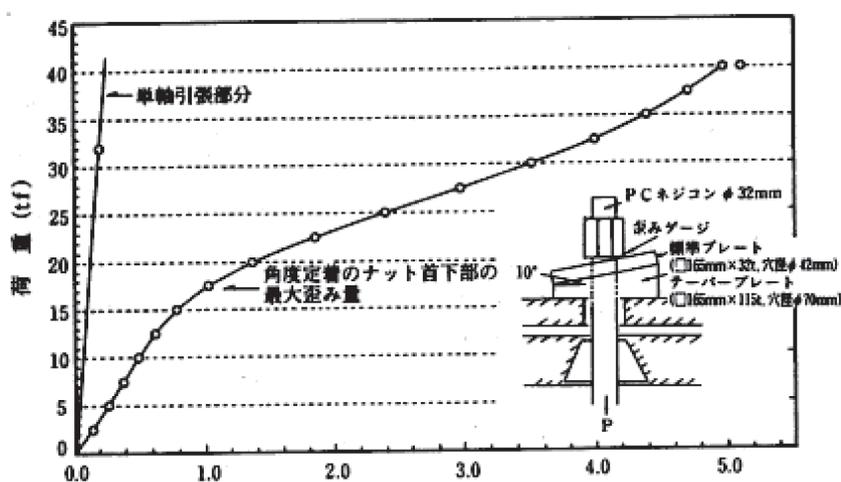


図-1.6 角度定着試験結果（角度定着 10° の場合のナット首下部の歪み）⁸⁾

[1 章 参考文献]

- 1) 坂村 昶:PC 鋼材の製造とその取り扱いについて(第 3 回)-PC 鋼材の取扱い面における意事項-, プレストレストコンクリート, Vol. 13, No. 4, pp54~61, 1971 年
- 2) 古賀, 玉越, 武田:熱影響を受けた PC 鋼棒の耐荷力特性について, 土木学会, 土木学会第 62 年次学術講演会概要集, VI-30 PP59-60, 2007 年 9 月
- 3) 日本規格協会: JISG 3536 (PC 鋼線及び PC 鋼より線)
- 4) 日本規格協会: JISG 3109 (PC 鋼棒)
- 5) (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説 I 共通編, PP76~77, 平成 14 年 3 月
- 6) (社)土木学会:プレストレストコンクリート標準示方書 解説資料, コンクリートライブラリー第 44 号, PP10~11, 昭和 54 年 7 月
- 7) 住友電気株式会社 技術資料:ゲビンデスターブ カタログ
- 8) 財団法人 高速道路調査会:仮設 PC 鋼材設計・施工マニュアル, PP13~17, 平成 9 年 7 月
- 9) 日本鋼構造協会 技術委員会 耐久性分科会 耐火小委員会 高温強度班:「特集・鉄筋コンクリート用棒鋼および PC 鋼棒・鋼線の高温時ならびに加熱後の機械的性質 JSSC, Vol. 5, No45, pp10~62, 1969」