

◆ 報 文 ◆

PC鋼棒の熱影響による耐力低下

玉越隆史* 小林 寛** 武田達也*** 古賀友一郎****

1. はじめに

PC鋼材に熱影響（特に溶接影響）を与えた場合、耐荷力が極度に低下することが知られている。

一方、熱影響が耐荷力の低下などを含んだPC鋼材の強度等機械的性質にどの程度の影響を及ぼすのかについては、一般的に認知されていない。これは、これまでPC鋼材を専門的に取り扱う施工者にとっては、いわゆる「常識」の範囲であるためである。出荷される製品に注意書きなどが付けられているのにも係わらず、実務で用いられている施工要領や技術基準類には、特段の注意喚起や禁止事項が明確には記述されていない場合が多いためと思われるが、近年の熟練作業員の不足等か

ら仮設部材や架設用治具等のPC鋼材が安易に鉄筋などと溶接されるケースが生じている。写真-1、2は、平成18年に起きたポストテンションPC桁のクレーン架設時の事故の例である。この例では、両支点付近のコンクリート中に埋設された架設用PC鋼棒がクレーンによるつり上げ時に破断したために吊り荷の桁が作業ヤードに落下した。そして事故後の調査によって、事故の主たる原因は架設用PC鋼棒をコンクリート内の鉄筋と一部溶接していたことであると考えられた。

2. 研究の目的

このような現状を鑑み、国総研道路構造物管理研究室では、PC鋼棒に対して溶接などによる入熱を行うことの悪影響について、注意喚起する目的から、現在一般に供給されている最新の材料を用いた実証実験を行いデータの取得を行った。ここで得られた結果を公表・周知することでPC鋼棒の適切な取り扱いの重要性が再認識され、周知徹底されることを期待している。

3. 実験概要

3.1 使用PC鋼棒

実験は、一般的に仮設材としてよく使われる総ねじPC鋼棒を対象とし、現在国内で生産されている全ての製品（製造メーカー2社による）で行った。これらはJIS3109に規定されている製造方法①圧延鋼棒②熱処理鋼棒③引抜鋼棒の3種類のうち、①圧延鋼棒②熱処理鋼棒に相当している。以

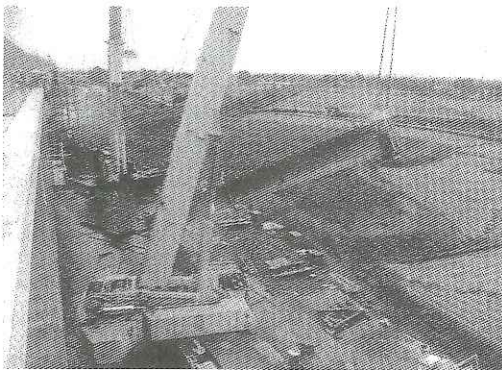


写真-1 架設用PC鋼棒の破断による桁の落下

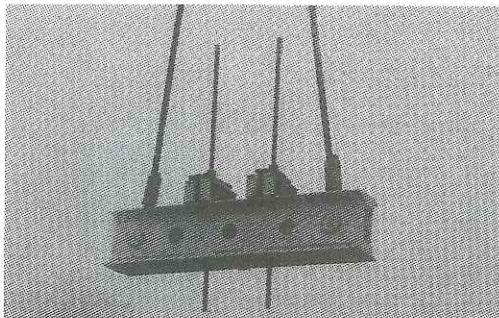


写真-2 破断した側の架設用PC鋼棒

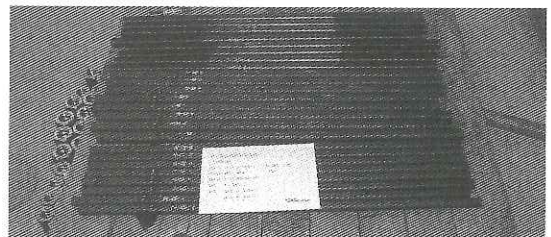


写真-3 実験に使用したPC鋼棒

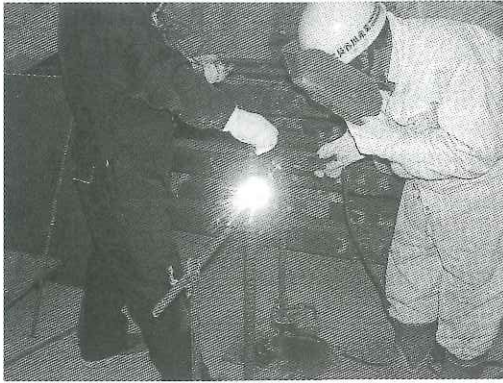


写真-4 PC鋼棒と鉄筋の溶接状況

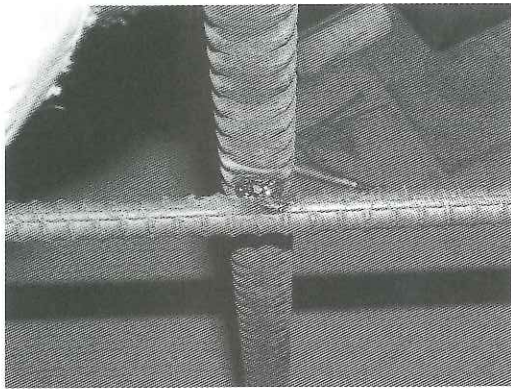


写真-5 鉄筋に仮溶接された状態

後これらの製品について①圧延鋼棒を①種、②熱処理鋼棒を②種と表記する。

供試体の径は、それぞれ①②の鋼材種でφ26mm (25mm)、32mmの2種類の径とした。

総ねじPC鋼棒はJISに規格がない。基本的には、JIS G3109によっており、機械的性質においては普通鋼棒B種1号に相当している。このため普通鋼棒B種1号φ32mmについてもあわせて実験を行った。

成分については、JISにおいてPC鋼棒全般に詳細の規定はなく、不純物P,S,Cuが制限されているのみである。この点で①種②種の鋼棒に大きな違いは認められない。

3.2 入熱の影響

実験では、実施工においてPC鋼棒への入熱が行われる可能性が高いと考えられる小規模の仮止め溶接を模擬して、PC鋼棒と鉄筋を溶接した(写真-4、5)。使用した溶接棒は一般的な規格のものを使用し約4秒の溶接時間とした。

このような小さな溶接では入熱量や熱影響範囲

にばらつきが生じるため、それぞれの条件において5本の溶接供試体を作製し、そのなかでも外観上溶接影響範囲が概ね同じ程度と考えられる3本のPC鋼棒を溶接された鉄筋から取り外して供試体とした。溶接寸法は約4×10mm程度となった。

3.3 引張試験

実験は写真-6に示すようにセンターホールジャッキにより引張試験をおこなった。定着プレートとセンターホールジャッキの間にダイナモメータを設置し、載荷による荷重を計測した。また試験では、純粋な引張状態となるケースだけでなく、現場の架設作業を想定し、写真-7左側に示すように10°の勾配をもったテーパプレートを紹介して供試体を固定し、鋼棒の溶接部に曲げが作用するケースでも行った。写真-7右側は、テーパプレートにより鋼棒に曲げが作用している状態である。入熱を与えた鋼棒は溶接局部に曲げ引張が作用するようにテーパプレートの厚手方向に溶接部を設置するように注意した。

載荷速度は、現場での緊張作業速度程度10kN/secを目安とした。

4. 実験結果

実験の結果を表-1に、φ26 (φ25) 総ねじ鋼

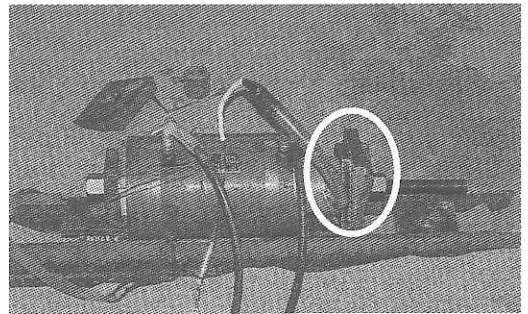


写真-6 センターホールジャッキ

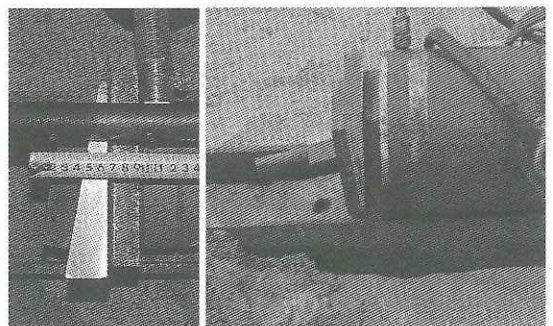


写真-7 テーパープレートと曲げ引張状況

棒のそれぞれの条件による破面と側面の状況①種分を写真-8～11に、②種分を写真-12～15に示す。断面写真における白抜き三角形は破断起点を示す。

4.1 健全鋼棒軸引張試験

供試体鋼棒と試験成績表を確認する目的で各材料について1本だけ健全のままの軸引張試験をおこなった。

表-1に示すように、総ねじ鋼棒は、試験成績表引張荷重に対して100～103%の値を示した。なお普通鋼棒は試験結果が100%を下回り①種ではその低下率が4%と大きかったために念のため試験を2本追加して計3本の引張試験を行ったが、破断荷重平均は試験成績表の96%で4%の低下となった。これは、試験成績表が母材に関する試験値で、母材径とねじ部径が一致する総ねじ鋼棒と、母材を切削してねじを切るためにねじ部径が細くなる普通鋼棒との差によるものと考えられる。普通鋼棒では軸引張試験での破断位置はねじ部であった。

以上の結果より、今回試験に使用したPC鋼棒はJIS規格材として一般的な品質を満足する材料

と判断し、試験結果の比較や考察において、試験成績表に示された引張荷重を基本値とした。

4.2 溶接鋼棒軸引張試験

溶接鋼棒軸引張試験では、表-1から全ての鋼棒種で試験成績表引張荷重に対して供試体3本の平均値および個々の値について耐荷力の低下が認められた。また供試体それぞれの破断荷重は3本で大きなばらつきは無い。また特に①種の耐荷力低下は著しくほぼ50%となった。

写真-9、13の断面を見ると、いずれも破断の起点が溶接による熱影響部となっており、そこから放射状に脆性破断に特徴的な破面模様が見られる。側面からの観察でも延びやそれに伴う絞り無く脆性的な破断であったことが確認出来る。

4.3 健全鋼棒曲げ引張試験

健全鋼棒曲げ引張試験では、全ての鋼棒種で試験成績表引張荷重に対し100%に近い破断荷重となった。供試体個々の数値でもばらつきは少ない。

側面からみた破断性状(写真-10、14)では健全鋼棒軸引張写真-8、12と同様に、延びとそれに伴う絞りが確認出来る。

表-1 各条件によるPC鋼棒破断荷重

鋼棒種類	鋼材の状態 力の作用状況	鋼棒径	破断荷重 平均 (kN)	引張荷重 (kN) ミルシート	破断荷重平均 ／引張荷	供試体数	実破断荷重 (kN)		
							供試体1	供試体2	供試体3
①種 総ねじ鋼棒	健全鋼材 軸引張	φ 26mm	636	623	102%	1本	636.0	-	-
		φ 32mm	951	925	103%	1本	951.0	-	-
	溶接鋼材 軸引張	φ 26mm	280	623	45%	3本	270.6	259.1	309.3
		φ 32mm	524	925	57%	3本	543.7	532.9	494.2
	健全鋼材 曲げ引張	φ 26mm	632	623	101%	3本	647.4	631.3	618.0
		φ 32mm	905	925	98%	3本	925.4	894.6	895.9
溶接鋼材 曲げ引張	φ 26mm	42	623	7%	3本	44.6	37.7	39.1	
	φ 32mm	67	925	7%	3本	64.9	58.9	77.8	
①種 普通鋼棒	健全軸引張	φ 32mm	940	978	96%	3本	942.4	931.8	946.1
	溶接軸引張	φ 32mm	497	978	51%	3本	528.8	461.1	500.2
	健全曲げ引張	φ 32mm	942	978	96%	3本	926.3	964.5	935.1
	溶接曲げ引張	φ 32mm	78	978	8%	3本	86.1	70.4	77.8
②種 総ねじ鋼棒	健全鋼材 軸引張	φ 25mm	585	583	100%	1本	584.9	-	-
		φ 32mm	909	898	101%	1本	909.3	-	-
	溶接鋼材 軸引張	φ 25mm	539	583	92%	3本	541.6	528.8	545.8
		φ 32mm	861	898	96%	3本	876.6	838.9	866.5
	健全鋼材 曲げ引張	φ 25mm	586	583	101%	3本	586.2	586.7	584.4
		φ 32mm	903	898	101%	3本	898.2	907.9	903.3
溶接鋼材 曲げ引張	φ 25mm	384	583	66%	3本	386.6	406.8	357.6	
	φ 32mm	848	898	94%	3本	877.1	840.3	826.0	
②種 普通鋼棒	健全軸引張	φ 32mm	895	910	98%	1本	895.0	-	-
	溶接軸引張	φ 32mm	843	910	93%	3本	838.4	868.3	820.9
	健全曲げ引張	φ 32mm	895	910	98%	3本	891.8	897.3	895.9
	溶接曲げ引張	φ 32mm	815	910	90%	3本	789.2	815.4	841.2

注) 網掛けは溶接を行った鋼棒の試験結果

側面における破断位置は曲げ作用部であった。断面での破断起点は、健全鋼棒軸引張試験と同様に①種は断面中心付近にあり、②種は外縁部であった。

普通鋼棒の破断位置は、曲げ作用部ではなく健全鋼棒軸引張試験と同様にねじ部であり、側面的にも延びやそれに伴う絞りが確認された。また断面での破断起点も外縁部であった。

今回の試験では、曲げ作用だけによる鋼棒の強度特性への影響が、明確には確認出来なかった。

4.4 溶接鋼棒曲げ引張試験

溶接鋼棒曲げ引張試験では表-1より試験成績表の引張荷重に対して全ての鋼棒種、3供試体の平均値のみならず、個々の値においても耐荷力の低下が認められ、供試体3本個々の破断荷重のばらつきも少ない。

特に①種において耐荷力が、10%以下となり顕著な低下を示した。②種においてはφ25 総ねじ鋼棒において耐荷力が65%程度となり顕著な低下を示している。

写真-11、15の断面を見ると、いずれも破断の起点が溶接による熱影響部となっており、そこから放射状に脆性破断に特徴的な破面模様が見られる。側面からの観察でも延びやそれに伴う絞りが無く脆性的な破断であったことが確認出来る。

4.5 溶接の影響

図-1に健全鋼棒と溶接鋼棒の引張試験結果を試験成績表の引張荷重に対する比（供試体3本の平均値）で比較した。

溶接影響の大小に差はあるものの、今回行った実験鋼棒種全てにおいて、3供試体の平均値のみならず、表-1の供試体個々の数値からも溶接さ

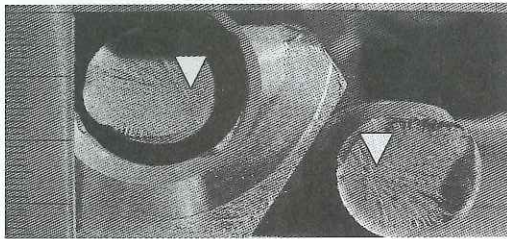


写真-8 ①種健全鋼棒軸引張

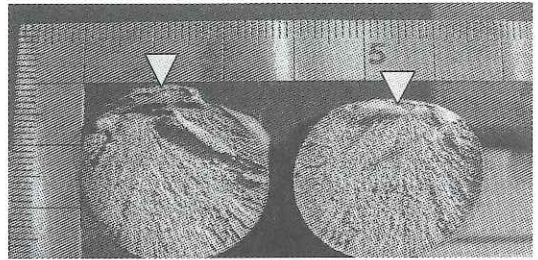
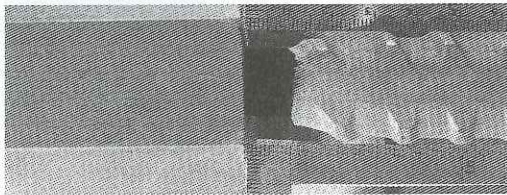


写真-9 ①種溶接鋼棒軸引張

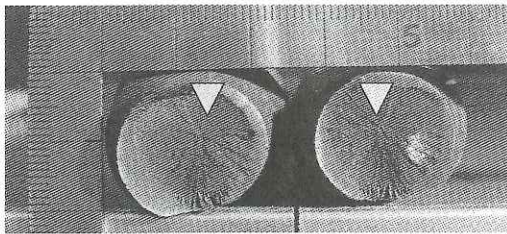
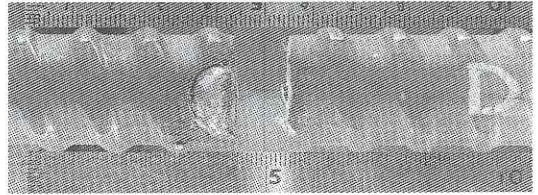


写真-10 ①種健全鋼棒曲げ引張

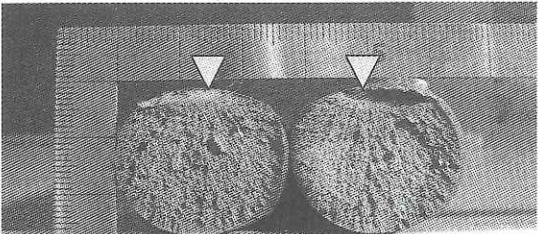
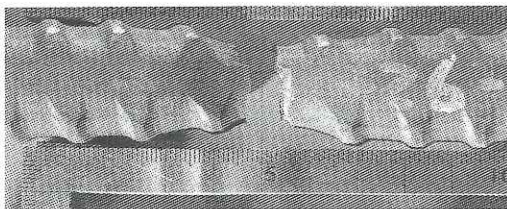
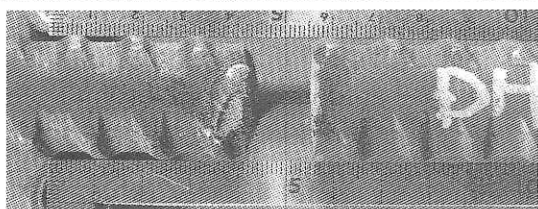


写真-11 ①種溶接鋼棒曲げ引張



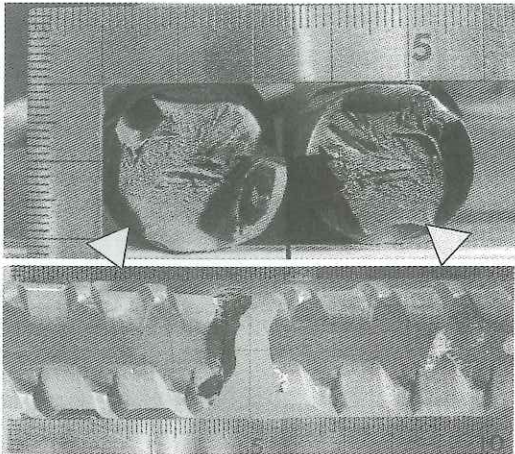


写真-12 ②種健全鋼棒軸引張

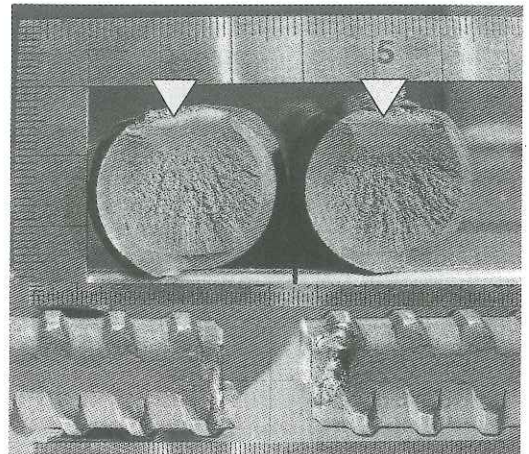


写真-13 ②種溶接鋼棒軸引張

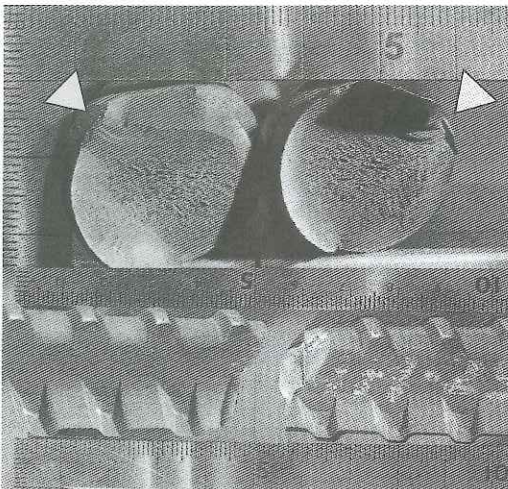


写真-14 ②種健全鋼棒曲げ引張

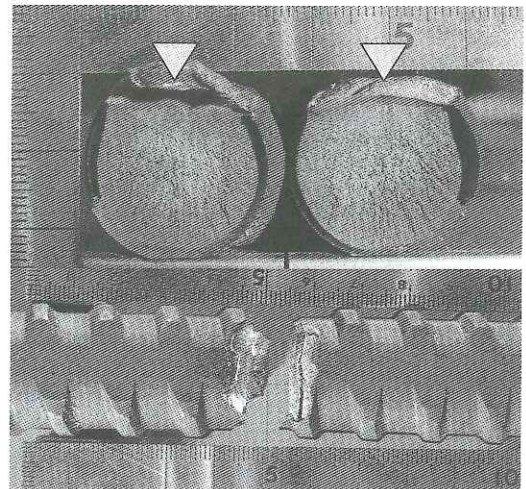


写真-15 ②種溶接鋼棒曲げ引張

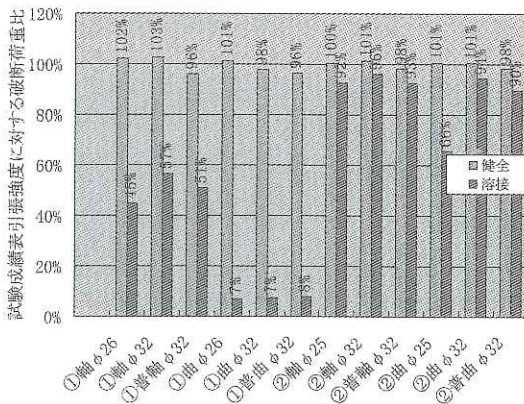


図-1 溶接による影響

れた鋼棒の破断荷重が、非溶接のものに比べて小さくなっており、溶接による入熱の影響が認め

られた。特に曲げ作用と重複した場合に溶接影響が顕著となる傾向が見られた。

4.6 曲げ作用の影響

図-2に曲げ作用に着目して、軸引張と曲げ引張試験結果を試験成績表の引張荷重に対する比(供試体3本の平均値)で比較した。

健全鋼材を見ると、破断荷重が軸引張、曲げ引張ともほぼ同程度で、全ての鋼棒種で曲げ作用の影響に明確な差は見られない。一方溶接影響が重複した場合に、①種の全鋼棒種、②種φ25mm 総ねじ鋼棒に曲げ作用の影響が顕著に現れている。②種のφ32mm 鋼棒は総ねじ、普通鋼棒とも平均において僅かな差が見られるが、供試体個々の数値を見ると、曲げ引張試験値の方が破断荷重の高いものも見られ、曲げ作用の影響は明確ではない。

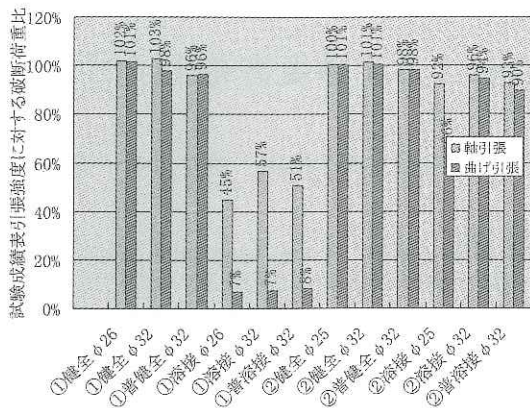


図-2 曲げ作用の影響

4.7 総ねじ鋼棒と普通鋼棒

今回は①、②種とも総ねじ鋼棒と機械的性質が同一である普通鋼棒（B種1号）で実験を行っており、これらを同径φ32で比べた場合、図-1、図-2から見ても溶接影響や曲げ作用による耐力低下に関して差は認められず同様の性状を示した。

5. まとめ

実験によってPC鋼棒に対する溶接などによる熱影響が、機械的性質に悪影響を及ぼすことが再確認された。

特にPC鋼棒を架設部材として用いる場合には曲げ応力を生じさせないように配慮されるが、溶接による熱影響を与えた場合に引張応力に加えて曲げ応力が生じると耐力が極端に低下する場合がありますことが確認された。

6. おわりに

本研究は、これまで当然のこととして認識されてきたと考えていたPC鋼棒に熱影響を与えることの危険性について、定量的なデータによる客観的な実証結果がなく周知も十分にはなされてこなかったことや、熟練技術者、熟練作業員の減少なども影響して必ずしも工場や現場関係者の中で周知されていないとの認識から、実験により危険性について実証的データを得ることを目的として行ったものである。

したがって、実験においても製造方法や材料的な差異については着目しておらず、実験に用いた供試体数も限られ、静的耐力試験以外については行っていないことから、製造方法の違いや細かい材料特性の違いがどの程度入熱による耐力低下の危険性の程度に差異となって影響するのか等については考察できない。

ただし、少なくともPC鋼棒への入熱はその機械的性質に影響を与え、条件によっては耐力が極端に低下する可能性があることについては実証できたと考えている。

本研究の結果が、工事等の関係者におけるPC鋼棒の適切な取り扱い（特に溶接の原則禁止）の再認識と周知徹底の一助となり、事故等の防止に多少なりとも貢献することを期待している。

参考文献

- 1) (財) 高速道路調査会：仮設PC鋼材設計・施工マニュアル, pp.14-15, 1997

玉越隆史*



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室長
Takashi TAMAKOSHI

小林 寛**



外務省国際協力局多国間協力課（前 国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室主任研究官）
Hiroshi KOBAYASHI

武田達也***



国土交通省北陸地方整備局高田河川国道事務所工務第二課工務係（前 国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室研究官）
Tatsuya TAKEDA

古賀友一郎****



三井住友建設株式会社土木管理本部土木技術部技術企画グループ（前 国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室交流研究員）
Yuuichirou KOGA