

(107) 2300N/mm²級高強度PC鋼より線の開発

神鋼鋼線工業(株) 開発部 ○児玉 勝
 同上 材寄 勉
 同上 山岡幸男
 (株)神戸製鋼所 条鋼開発室 茨木信彦

1. はじめに

建設業における現場での省力化、生産性の向上、あるいは建設廃材の削減などの要求から、従来の圧縮強度450kgf/cm²程度のコンクリートに対し、600kgf/cm²の高強度コンクリートが実用化されつつあり、それに対応して、PC部材の高強度化も望まれている。¹⁾

著者らは、1984年に300Kグレード (2060N/mm²) のPC鋼より線の報告²⁾を行っているが、それ以後もさらに強度の高いより線の開発を行ってきた結果、2300N/mm²級 (330Kグレード) の高強度PC鋼より線が試作できたので、その諸特性について報告する。

2. 供試材

本開発材の化学成分範囲を表-1に示す。通常材より、C、Si量を高めている。

表-1 本開発材の化学成分範囲 (wt%)

C	Si	Mn	P	S
0.80~1.30	0.60~2.50	0.30~0.90	≤0.02	≤0.02

比較材としては、一般によく使用されているJIS G 3502のSWRS82Bを用いた。これら線材をそれぞれ、鉛バテンティング・伸線・より線加工・ブルーイングを行い、7本より12.7mmのより線とした後、比較材は、JIS G 3536 SWPR7B (270Kグレード) に仕上げ、以下に示す特性調査を行った。

3. 結果

3-1 引張特性

より線の引張試験結果を表-2に示す。

本開発材は、比較材に比べ、引張荷重は約25%、0.2%永久伸びに対する荷重は約32%高くなり、今までに類を見ない高強度化が達成されている。その他の伸び、弾性係数は同等である。

表-2 より線の引張試験結果

	公称断面積 (mm ²)	引張荷重 (kN)	引張強さ (N/mm ²)	0.2%永久伸びに 対する荷重 (kN)	降伏強さ (N/mm ²)	降伏比 (%)	伸び (%)	弾性係数 (kN/mm ²)
本開発材	98.71	237	2405	232	2350	97.7	7.8	191
比較材	98.71	191	1930	176	1780	92.2	7.6	193

3-2 定着効率

定着具として、ウェッジタイプのCCLアンカーライトグリッ

AG-1を用い、次式にて求めたより線の定着効率の結果を表-3に示す。

本開発材は、比較材と同等の結果を示している。

表-3 定着効率

	定着効率 (%)
本開発材	95.0
比較材	97.2

$$\text{定着効率 (\%)} = \frac{\text{PC定着具を用いて引張破断した時のより線の荷重 (kN)}}{\text{より線の引張荷重 (kN)}} \times 100$$

3-3 曲げ引張特性

これは、PC鋼材の靱性を調べる試験法の一つで、曲げ引張によるより線の破断荷重の低下率を指標としている。図-1にその模式図を、結果を表-4に示す。

本開発材は、比較材よりやや劣る結果を示しているが、特に問題になる値とは考えられない。

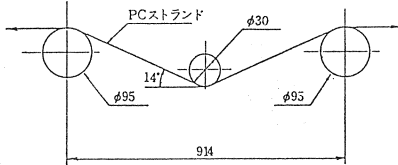


図-1 曲げ引張試験法

	破断荷重の低下率 (%)
本開発材	14.5
比較材	11.8

3-4 リラクゼーション特性

初荷重をより線の引張荷重の0.7倍とし、常温で10時間試験後の結果を表-5に示す。

本開発材は、比較材に比べかなり優れていることがわかるが、これは、Si量を高めたことにより、可動転位の固着作用が大きくなったためと考えられる。

	リラクゼーション値 (%)
本開発材	0.4
比較材	0.8

3-5 疲労特性

下限応力を引張強さの60%とし、CCLグリップを定着具に用いた時のより線の部分片振引張疲労試験結果を図-2に、また、より線の構成素線(芯線)を用いた回転曲げ疲労試験結果を表-6に示す。

本開発材、比較材ともほぼ同等の値を示している。

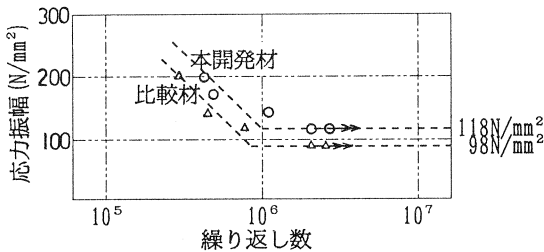


図-2 部分片振引張疲労試験結果

	繰返し応力 (N/mm²)	耐久比
本開発材	490	0.20
比較材	470	0.25

$$\text{耐久比} = \frac{\text{繰返し応力}}{\text{引張強さ}}$$

3-6 応力腐食特性

より線の構成素線(芯線)を用い、2種類の腐食液にて行った結果を図-3、表-7に、また、それぞれ代表的な破断の様子を写真-1、写真-2に示す。

一般に鋼材の応力腐食特性は、引張強さが増すほど悪くなると言われているが、純応力腐食現象を示すNH₄NO₃中では本結果はその傾向に合っている。しかし、水素脆性を示すNH₄SCN中では、本開発材は強度が大幅に高くなっているにもかかわらず、比較材より少し良い値を示しており、これはSiが高いためと考えられる。そして、FIPでは、NH₄SCN溶液での試験において、全試験数12本のワイブルプロットを用い、破断確率50%の破断時間がワイヤの場合で最低4時間という指標が提示されており、現在も試験は継続中であるが、これまでの結果では、本開発材はそれを十分に満足しており、高強度化したにもかかわらず、応力腐食特性は実用上問題となる傾向は現れていないと判断できる。

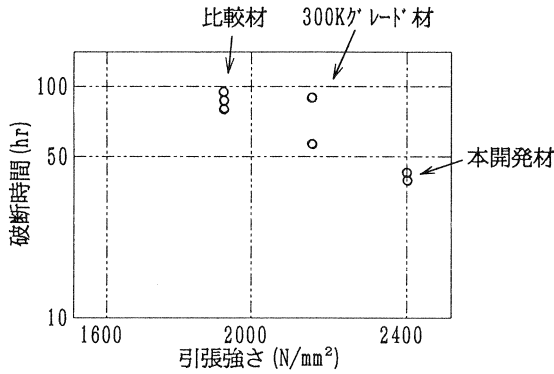


図-3 応力腐食試験結果
 腐食液: 20wt% NH_4NO_3
 液温: 100°C
 負荷応力: $0.7 \times$ 引張強さ

表-7 応力腐食試験結果 (FIP試験方法)

	破断時間 (hr)	
本開発材	8.1	9.9
比較材	8.0	7.5

腐食液: 20wt% NH_4SCN
 液温: 50°C
 負荷応力: $0.8 \times$ 引張強さ

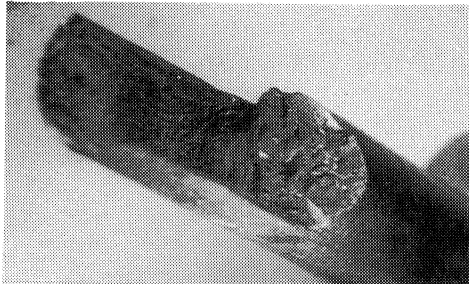


写真-1 NH_4NO_3 での試験による破断面
 (純応力腐食現象)

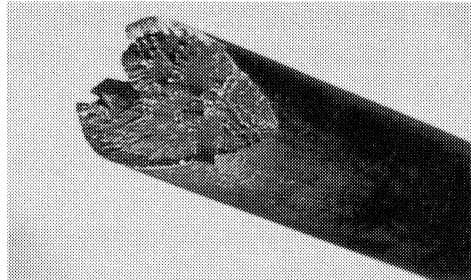


写真-2 NH_4SCN での試験による破断面
 (水素脆化現象)

3-7 コンクリート附着特性

より線にコンクリートを打設し、引抜き試験を行った時のコンクリート附着特性を調べた結果を表-8に示す。ここで、附着強度は、次式にて求めた。また、用いたコンクリートの圧縮強度は、 $2890\text{N}/\text{cm}^2$ であった。

これより、本開発材、比較材ともほぼ同等の値を示している。

$$\text{附着強度 (N/cm}^2\text{)} = \frac{\text{抜出し荷重 (N)}}{\text{より線の周長 (cm)} \times \text{埋込長さ (cm)}}$$

表-8 附着強度試験結果

	附着強度 (N/cm ²)
本開発材	327
比較材	301

3-8 蒸気特性

PC鋼材は、コンクリートの蒸気養生中、高温の蒸気にさらされることが考えられるため、より線の引張荷重の0.7倍の負荷をかけながら、90~100°Cの蒸気中で一週間保持し、その間の破断の有無、保持後の引張荷重残存率を調査した。結果を表-9に示す。

表-9 蒸気試験結果

	破断の有無	引張荷重残存率(%)
本開発材	無	99.6
比較材	無	99.0

本開発材、比較材ともまったく異常は認められなかった。

$$\text{引張荷重残存率} = \frac{\text{蒸気中保持後の引張荷重}}{\text{より線の引張荷重}} \times 100$$

4. まとめ

PC鋼より線の高強度化を目的に開発を行うことにより、今まで全く報告のなかった新規な2300N/mm²(330K)級のPC鋼より線の製造が可能となった。また、その諸特性を調査した結果、引張、定着、曲げ引張、リラクゼーション、疲労、応力腐食、コンクリート付着、蒸気など、すべてPC鋼材として必要な特性を満足していることが確認された。

これにより、以下のようなことが期待される。

- ① PC鋼より線本数の減少に伴う、配線、緊張、グラウト作業などの減少による、工事の省力化や生産性の向上
- ② 使用材料減少による建設廃材の削減
- ③ コンクリート構造物の大型化、長スパン化、あるいは軽量化
- ④ トータルコストの削減

この開発に関連した技術については特許を出願中である。

参考文献

- 1) 藤井、玉井：「Fc=600kgf/cm²の高強度コンクリートとSD490の高強度鉄筋を用いたサイトPCa部材による高層RC建造物の設計・施行」, コンクリート工学, Vol.33, No.4, 1995.4
- 2) 坪野、倉内、小林、山岡：「高強度PC鋼より線の諸特性について」, プレストレストコンクリート, Vol.26, No.3, 1984.5