

PC 鋼材 関係

田 中 義 人*

PC 鋼材関係については、5月2日の午前中に、FIP PC 鋼材・システム委員会 (FIP Commission on Prestressing Steels and Systems) がセミナーを開催した。

座 長 J. G. Bohde (インド)
副座長 B. Rhode (イギリス)

プログラム

(1) 活動報告

委員長 A. S. G. Bruggeling (オランダ)

(2) 極低温用 PC 構造物と PC 鋼材

G. Sleight (イギリス)

(3) PC 鋼材の耐久性——応力腐食

G. Rehm (西ドイツ)

(4) 蒸気養生による応力損失

A. Erdelyi (ハンガリ)

(5) PC 鋼材の機械的・レオロジー的特性

S. A. Madatjan (ソ連)

(6) 応力腐食試験方法 M. Brachet (フランス)

(7) 7本より線のボンド特性

A. J. Dekker (オランダ)

(8) 品質管理とデータの解釈

M. Binnekamp (オランダ)

委員長の活動報告は、1974年のNew York大会以降の当委員会の活動状況の総括報告であり、また、各 ad hoc 委員会の締めくくりとして行われるセミナーの内容紹介でもあった。以下、委員長の活動報告を中心に、セミナーの概要をまとめて報告する。

1. はじめに

当委員会は、PC 鋼材メーカー、PC 工法、PC 構造専門技術者、研究所および許認可当局者で構成され、お互いに理解し信頼し合おうという雰囲気の中で議論が行われている。当委員会は、FIP という組織の中で、PC 鋼材と PC 工法に関するアドバイザーとしての責任を有することを自覚し、その目的とするところは、実用に役に立つレポートを発行することである。

多数の有益な研究や実験が行われているが、それらは現場で働く者には、どう取扱って良いかわからず、相当の勉強をしいられる。したがって、当委員会のメンバー

* 神鋼鋼線工業(株)

は、そのような研究論文を検討し、委員会としての結論を出し、現場担当者を援助しなければならないと思っている。

当委員会は、1974年のNew York大会以後、毎年1回秋に、場所を変えて開いてきた。

2. AD-HOC 委員会

過去4年間に、レポートを作成すべく活動してきた ad hoc 委員会はつぎのとおりである。

2.1 PC 技術の開発

2.1.1 極低温特性 ad hoc 委員会 (委員長 G. Sleight)

今のところ、窒素ガスの沸騰点 (-196°C) 以下で PC 鋼材の試験を行った記録はないが、20°C ~ -196°C の試験結果は多数報告されている。図-1 に PC 鋼材の低温引張試験結果の例を示す。それによると、つぎのことがいえる。

- 温度を下げてゆくと、引張強さおよび弾性限は上昇する。
- -40°C 以下では、レラクセーションは、0 に近づく。
- 低温になると、じん性は低下する傾向にある。
- 定着具は、適切な注意を払って設置すれば、極低温でも安全である。ただし、定着具の材料の品質および定着方法については、十分考慮しなければならない。

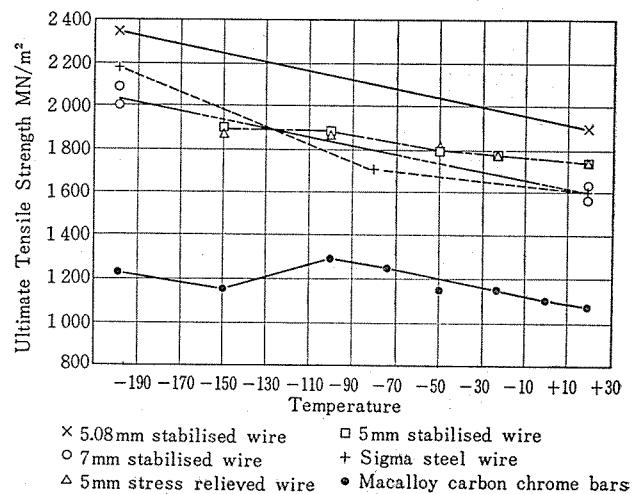


図-1 PC 鋼材の低温引張試験結果の例

結論として、冷間引抜の PC 鋼線、PC 鋼より線および一部の熱処理鋼線は、極低温でも十分に使用に耐える。

2.1.2 PC 構造物の極低温挙動 ad hoc 委員会
(委員長 M. Elices)

PC 構造物の極低温への応用は、液化ガス（液化酸素、LNG、LPG など）の貯蔵用タンクの壁またはその擁壁に限られる。常温用の円形 PC タンク建造技術はすでに確立されており、極低温用タンクも、同じ技術で、ほとんど大きな問題なく建設されている。表-1 に極低温用 PC タンクの歴史的経過を示す。

表-1 極低温用 PC タンクの歴史

年次	容量 (m ³)	用途	所有者、場所など
1952	1 000	液体酸素	Linde 社建設決定
1954	2 500	液体酸素	Linde 社第 2 基建設, Indiana 州
1960	160/200	LNG	プロトタイプ
1965	2 000	LPG	Gas de France 社用, Nantes
1969	2×40 000	LNG	Gas Natural SA 社用
1970	91 000	LNG	TET 社用, Staten Island, 火災事故のため廃却
1971	30 000	擁壁	Technische Werke der Stadt Stuttgart
1972	4 000	液体メタン	Valley Gas 社用, Rhode Island 州
	8 000	LNG	Cape Cod
1974	2×92 500	液体メタン	Philadelphia Gas Works 社用, New Jersey 州
〃	2×143 000	LNG	Distrigas 社, Staten Island
1975	40 000	LNG	Greater Winnipeg Co. 社
1977	80 000	LNG	Barcelona で建設中, Gas Natural 社用

極低温タンク的设计・施工上、PC 鋼材および工法に関して、つぎの点を注意しなければならない。

- (1) PC 鋼材——テンダンの位置、緊張されグラウトまたは吹付けされた鋼材の耐久性。
- (2) 定着具——水平および垂直テンダンの定着具の設置場所、カップラーの低温特性。

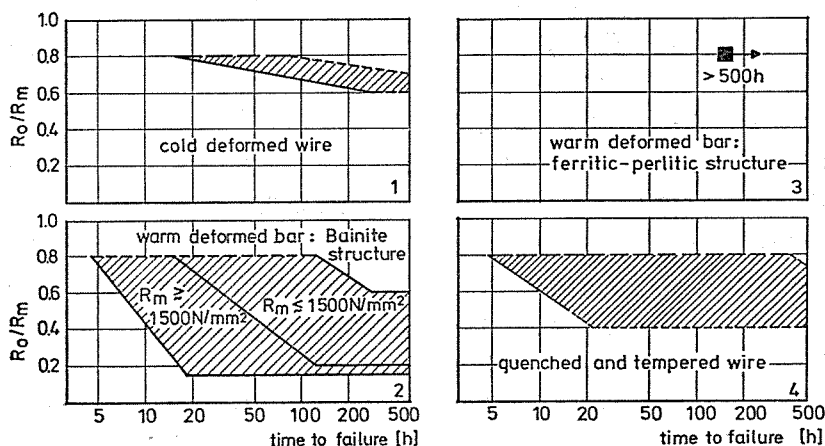


図-2 PC 鋼材の応力腐食試験結果

〔溶液〕 20% NH₄SCN 45°C

〔供試材〕 1: 冷間引抜線 2: ペーナイト鋼棒 3: パーライト鋼棒 4: 熱処理鋼線; R₀/R_m: 載荷応力/引張強さ

(3) 鉄筋——鉄筋の特性、寒波来襲時の表面ひび割れを考慮したかぶり厚さ。

(4) ジョイント——タンクの壁と底が温度変化に対して独立して応答するようなジョイント。

極低温タンクは、完成後、冷却期間および使用中の温度変化により、熱応力が発生するので、設計時に考慮しておかなければならない。また、地震、近隣火災、異常荷重などについても考慮しておく必要がある。擁壁は、熱衝撃および火災に耐えなければならない。

2.1.3 PC 鋼材の PC 以外への応用 ad hoc 委員会
(委員長 F. Rostasy)

過去 10 年間に PC 鋼材が、本来の PC 以外の用途にいろいろ使われるようになってきた。

- ・斜張橋あるいは長スパン屋根の吊材
- ・建設用連結材, 重量物引揚げ
- ・片持ばり工法の仮設ロックアンカー, アースアンカー

これらは、PC 鋼材の高い強度と定着方法を利用したものである。一方、PC 鋼材は、外傷および腐食に敏感な材料であるから、取扱いに特別の注意が必要である。

2.2 耐久性

2.2.1 グラウトされた PC 鋼材の耐久性 ad hoc 委員会 (委員長 G. Rehm)

当委員会が 2 回にわたって行った「応力腐食シンポジウム」で明らかになったことは、PC 鋼材を注意して取扱い、健全なコンクリート中に埋込めば、PC 鋼材の応力腐食の心配は、まったくないということである。ここ数年、例外を除いて、応力腐食事故の報告はない。例外とは、高強度鋼棒と熱処理鋼線であり、グラウト前の結露の影響で破断したものである。この高強度鋼棒は、現在製造中止になっている。

Stuttgart 大学の Otto-Graf 研究所で、応力腐食破断の原因調査と再現実験が行われている。実験室的な応力腐食破断は、必ずしも現実の現象を再現したものとは言えないという批判もあるが、しかし、実験室的に早期に破断する鋼材が、現実に破断事故を起していることを考えると、実験室のデータも有用である。図-2 は、各種 PC 鋼材の載荷応力と破断時間の関係を示している。

2.2.2 アンボンドケーブルの耐久性 ad hoc 委員会 (委員長 A. E. Andrew)

アンボンドケーブルがだんだん使

われるようになり、その耐久性、特に、グリースの品質、シース材料について研究する必要が生じてきた。また、アンボンド工法においては、定着具が、構造物の全寿命の期間、重要な役目を果たすので、その防錆保護についても、考慮を払わなければならない。定着具の入るポケットは、毛細管現象を防止するため、無収縮モルタルをつめなければならない。

2.2.3 迷走電流の影響 ad hoc 委員会

(委員長 J. T. C. Harvey)

一般のコンクリート構造物では、迷走電流が問題となることはないが、電化鉄道の橋梁、トンネルおよび枕木、電気溶接が多量に行われる PCCV および PCPV、鋼と PC の複合でできた海洋構造物などでは、特別の注意が必要である。

鉄道の場合、帰環ケーブルを設けて、電流レールを完全に絶縁し、構造物に迷走電流が流れないようにするのが、設計の大原則である。迷走電流を除く目的で、構造物をアースすることは推奨できない。

PC ケーブルを避雷針のアースとして使ってはならない。

複合海洋構造物において、現在の知識で良いとされるのは、コンクリート中の PC ケーブルまたは鉄筋を、電気的に、互いに接続することであるが、これは確実に行わないと逆効果である。

2.3 設 計

2.3.1 プレテンション PC 鋼材のボンド ad hoc 委員会 (委員長 A. J. Dekker)

当委員会は、すでに、ポストテンション用定着具に関する指針を出しているのので、これに対比したプレテンションにおける PC 鋼材のボンドについて研究する必要が生じた。

この ad hoc 委員会では、世界的にプレテンションによく使われる 7 本より PC 鋼より線のボンド特性について研究し、桁端のせん断、支点条件などの構造的なことについても討論を行った。成果は、FIP Technical Report とし "Report on Prestressing Steel : 2 Anchorage and Application of Pretensioned 7-Wire Strands" というタイトルで出版されているので参照されたい。

2.3.2 蒸気養生による応力損失 ad hoc 委員会

(委員長 A. Erdelyi)

プレテンション部材の蒸気養生において、PC 鋼材のリラクセーションがかなり高くなる。応力導入までに、この余分の損失 Δr_s は、ブルーイング材で 5~8%、スタビライズ材では、それより少なくなる。打設されたコンクリートと、PC 鋼材とのボンドが完全な場合でも、両者の熱膨張 (それぞれ ΔL_{cg} , ΔL_s) の差により「ゆる

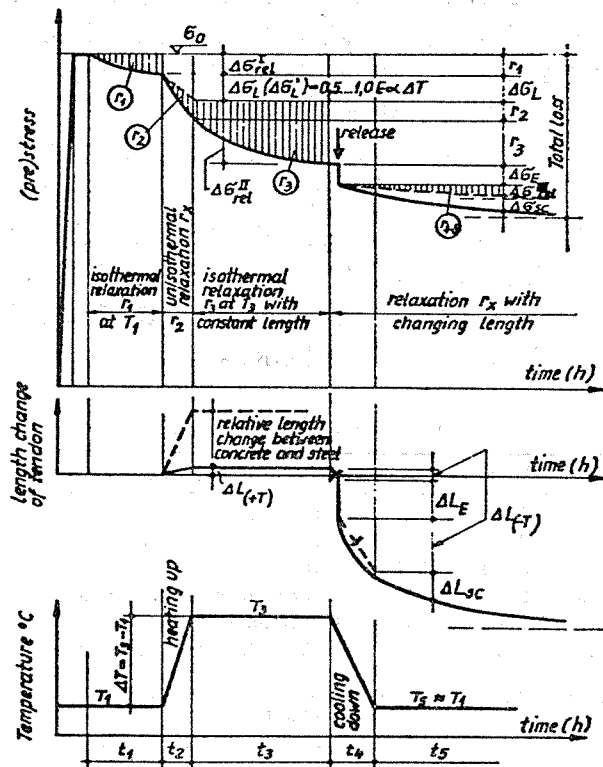


図-3 蒸気養生における長さおよび応力の変化の模式図

み」が生じる。この「ゆるみ」は、不可逆的なリラクセーションとなるが、その後、応力導入し、リラクセーションを観察すると、蒸気養生した場合の方が、しない場合より進み方が遅くなる。特に、ブルーイング材では、それが顕著で、蒸気養生中に、一種のスタビライズ効果が生じているものと思われる。図-3 に蒸気養生による温度変化に伴う長さの変化と、鋼材にかかる応力の変化 (リラクセーションを含む) を模式的に示す。

構造物の寿命期間 (約 10^6 時間) を考えると、蒸気養生により、一たん大きなリラクセーションを生じて、その後のリラクセーション速度の低下により、蒸気養生をしないものと、ほぼ同等の値となると推定される。

2.4 試験方法

2.4.1 PC 鋼材試験方法の国際的標準化 ad hoc 委員会 (委員長 F. Kubik)

今日までのところ、PC 鋼材の試験方法に関する国際的な標準はなく、FIP-CEB-RILEM 合同委員会が努力してコンクリート補強用鋼材の試験方法指針を作った。しかし、残念ながら、この指針は、各国の規格に対してあまり影響力を及ぼしていない。1976 年 Rotterdam における当委員会において、当委員会が、PC 鋼材の試験方法に関する ISO 標準を具申すべきことが決まった。しかし、ISO 標準は、一般の鋼材と共通の試験方法でなければならない、PC 鋼材だけにしか適用できないものは

不都合との意見もあったので、現在の ISO 金属材料の機械的試験標準を詳しく調べ、どこをどのように改めれば、PC 鋼材にも適用できるかを検討することになった。

一方、1977 年に、ISO の中にコンクリート補強用鉄筋と PC 鋼材の標準化のため、TC 17/SC 16 という委員会が作られ、FIP に協力要請があったので、この ad hoc 委員会が“category A”の資格で参加することになった。

このような事情で、PC 鋼材の試験方法については、FIP-CEB-RILEM 指針が、当分の間重要な役割を担うことになる。

2.4.2 応力腐食 ad hoc 委員会

(委員長 M. Brachet)

PC 鋼材の悪環境における耐久性を調べるためには、まず、試験方法を確立しなければならない。その方法はつぎの要件を備えなければならない。

- (1) 再現性を有すること
- (2) 特定の特性を明らかにすること
- (3) 実用条件下で受ける各種環境下での挙動を明らかにすること
- (4) 長時間を要さないこと

10 の研究所が協力して、共通サンプルを用いて実験した結果、アンモニウムチオサイアネート (NH_4SCN) による試験が、上の要件を最もよく満足することがわかった。今後、この方法により試験を行うことになるが、上記 (3) については、実験室的には再現できない破壊モードがあり、改めて、別の試験方法を確立する必要がある。今後とも、多くの研究所の協力により、研究を進めてゆきたい。

2.4.3 プレテンション PC 鋼材のボンド性 ad hoc 委員会 (委員長代理 A. S. G. Bruggeling)

プレテンションにおける PC 鋼材の伝達長および定着特性の測定について、標準試験方法を定める必要が感じられるが、ボンド特性については、すでに、RILEM-FIP-CEB の指針があるので、今後、静的・動的条件下での伝達長の測定方法について、素案を作成し、本委員会へ提出する予定である。

2.4.4 多軸応力下の挙動 ad hoc 委員会

(委員長 J. F. P. van Herberghen)

PC 鋼材には、多軸応力がかかることがある。たとえば、ウェッジ式の定着具では、PC 鋼材の軸方向とその直角方向に応力がかかるし、曲りケーブルや、バンドアップ工法の曲げ上げ部にも同じような応力が作用する。PC 鋼材は、多軸応力下では、引張強さが低下し、せん断切れすることがある。この挙動を明らかにするため、

必要なら標準試験方法を作りたい。

2.4.5 低温引張試験 ad hoc 委員会

(委員長 M. Elices)

極低温下で負荷を受ける PC 容器の開発のためには、PC 鋼材の低温特性を試験しなければならない。各所で行われた試験結果を比較するためには、試験条件を記述(標準化)する必要がある。すでに、PC 鋼材の極低温における切欠感受性についての討論を始めている。

2.5 PC 鋼材および工法の品質

2.5.1 PC 鋼材の品質 ad hoc 委員会

(委員長 D. Binnekamp)

この ad hoc 委員会の成果は、1976 年 8 月に FIP Technical Report on Prestressing Steel : 1. “Types and Properties” として発表されているので、中味については、それを参照願いたい。この報告書は、PC 鋼材を使用している技術者用に平易な内容としたので、学術論文の色彩はない。しかし、この報告書が、Euronorm EU 138 「PC 鋼材」の素案として利用され、また、EU 138 は、ISO TC 17/SC 16 の素案として採用されていることは、当委員会の誇りとするところである。

2.5.2 ポストテンション工法の受入および応用 ad hoc 委員会 (委員長 M. Birkenmaier)

この件に関しては、1972 年に指針を出しているが、1977 年の Vienna での本委員会で、改訂が提案された。今回は、その後出された FIP や CEB の文書や報告書を参照して、

- ・受入試験 (試験室的条件)
- ・製造管理 (現場的条件)
- ・品質管理 (各部品のチェック)

について、定義および試験方法による差を明らかにしてゆく方針である。特に、定着効率について再考したい。

2.5.3 材料試験の統計的アプローチ ad hoc 委員会 (委員長 S. A. Madatjan)

FIP の PC 鋼材および定着具に関する指針は、認証制度の可能性に注意を払っている。認証制度とは、特定の鋼材の工場生産の全過程において、メーカーが品質管理を行い、公的第三者がそれを監督することにより、メーカーと第三者とが共同で品質を保証しようとするものである。認証された材料を使用するときは、原則として、受入検査は不要である。この全工程における品質管理のためにデータの統計的取扱いが必要となる。

PC 鋼材や定着具など、国際的に出まわる製品は、規格が同一であることはもちろん、認証制度も、できるだけ同一でなければならない。

当委員会は、「品質保証と検査データの解釈」(Quality Assurance and Interpretation of Inspection Data) と

報 告

題して、討論用の報告書を Mr. D. Binnekamp にまとめさせたので、提出する。

この報告書は、在来の品質管理に関する文献や規格をもとにまとめたもので、何ら新しいことを創造したわけではない。考え方の根本は、「終局強度設計法」であり、こういう設計思想が採入れられていない国では、一つの指針として使ってもらいたい。品質管理(QC)と品質保証(QA)とが混同されているが、QCは、製造工程を中心としたものであり、QAは、QC活動が十分行われていることの保証であって、認証や監査を含むものである。

3. 今後の作業

以上述べてきたように、各 ad hoc 委員会の作業は、十分に進捗している。当委員会は、極低温タンク、浮揚構造物、圧力容器などの新しい技術の開発に、材料面から協力してゆくことを、その任務と考えている。もう一つの任務として、ボンド特性、応力損失、耐久性など、設計規準を確立すること、および、それらの試験方法を定めることがある。国際的な標準化も進めなければならない。要するに、当委員会は、PC 鋼材および工法に関する情報を、できるだけ平易な形で、PC 関係者に提供してゆく方針であり、ここ数年のうちに、この委員会の仕事が完了することはなさそうである。

4. 討 論

委員長報告およびセミナー講演が終った時点で、1件だけ質疑応答が行われた。

E. Schechter, M. Schupack (米) : 委員長はいろいろの機会に亜鉛めっきしたシースは、PC 鋼材の破断事故につながる危険性があるので、使用を禁止したいと発言しているが、それは、どういう根拠に基づくのか? アメリカ、特に、カルフォルニア州では、ポストテンション橋梁には、亜鉛めっきシースを使用することが、州政府の示方書に唱えてあり、過去 20 年間使ってきて、まったく問題を起していない。裸のシースで問題を起した経験から、めっき物に変更されたものであるが、われわれアメリカで実施していることは間違っているのか?

委員長 : これは、Dr. Rehm の強い意見であるが、アメリカとヨーロッパとは、条件が違うのである。問題を起していなければ結構だ。

Rehm : PC 鋼材に異種金属を接触させると水素が発生し、水素ぜい性を起す可能性がある。したがって、ヨーロッパでは、亜鉛めっきシースの使用は禁止したいと考えている。

Schechter : 実際に使って問題ないのに、電気化学理論だけで使用禁止とは納得できぬ。もっと現実を見つめるべきだ。

1979 年版 FIP Notes 購読予約受付について

世界の PC の現状を知るためには FIP Notes が最も適当な資料と考えられます。この機会にお早目に下記要領にてお申し込み下さい。予約価格は前年度と変わりません。

- 1) 内 容 : ロンドンに事務局を置く FIP (Fédération Internationale de la Précontrainte の略) は、PC 技術普及発展のため国際交流機関で、その組織下にある各種委員会の活動状況や世界各国の技術水準を知るにふさわしい工事写真、報告、論文等が掲載されている。
- 2) 発 行 : 隔月刊 (年 6 回)
- 3) 体 裁 : A 4 判の英文、頁数 12~16 (不含表紙)
- 4) 価 格 : 年間 (6 冊分) 3 600 円 (送料手数料共)
- 5) 申 込 : 希望者は「ハガキ」に必要な部数、送付先 (〒)、氏名、所属会社名記入のうえ協会事務局 (電 03-261-9151) へ、送金は三井銀行銀座支店 (普通預金) 920-790。なお、部数に制限がありますのでお早目にどうぞ。