

## FIP シンポジウム 1968 報告 (2)

### —P C 鋼材 関係—

田 中 義 人\*

FIP シンポジウムが去る 6 月 3 日～7 日にわたってスペインのマドリードで約 30 ヶ国から 250 人を集めて開催された。前半は Mass-produced prestressed precast element に関するシンポジウムで、日本から猪股俊司氏 (KK 日本構造橋梁研究所)、川村俊郎氏 (大同コンクリート工業 KK)、山崎隆雄氏 (高周波熱錬 KK) および筆者が出席した。また後半は Steel for prestressing に関するシンポジウムで前記猪股氏、山崎氏および筆者が出席した。ここでは P C 鋼材に関するシンポジウムについてのみ報告する。

シンポジウムはテーマごとに座長、書記、一般報告者 (General reporter) がおり、座長の司会のもとに、一般報告者が、各国から提出された報告の要旨や、それに対する批評を述べ、つぎに、あらかじめ登録した人々が、prepared discussion を行ない、続いて一般の floor の中から出て free discussion を行ない、最後に一般報告者が質問に対する回答とまとめを行なうという形式で行なわれた。

#### 1. 一般報告 (General report) グループ 1

テーマ 1: P C 鋼材の性質の改良

テーマ 2: P C 鋼材の製造方法の改良

一般報告者 (General reporter) は西ドイツの Jäniche の予定であったが Stolte が代読した。レポートはオーストリー、ソ連、フランス、イギリス、日本、西ドイツ、チェコから提出された。

今日では、P C は世界中で使用されており、P C 鋼材を製造している国も多くなっている。P C 鋼材は使用者の要求する性質を十分満足し、なおかつ製造におけるコストはできる限り安くなければならない。P C 鋼材の製造方法が進歩すれば、その性質は改良され、コストは下がり品質に対する信頼性は向上し、ひいては P C の地位はますます強固なものになる。

報告された改良を一覧表にすると、表-1 のとおりである。

\* 神鋼鋼線鋼索株式会社 開発部第 1 研究課

写真-1 マドリードの町角でバスを待つ出席者



#### 2. 一般報告 グループ 3

テーマ 4: P C 鋼材の腐食

テーマ 8: 摩擦およびボンド

一般報告者 Dr. Rehm が強調した点は、つぎのとおりである。

##### (1) P C 鋼材の腐食

a) 均一腐食 一般の鋼の腐食は電気化学的な分極作用であり、腐食を起こすためには腐食する条件が必要である。コンクリートはアルカリ性が強く、コンクリート中に完全に埋込まれた鋼はさびないものであるが、つぎの場合にはさびることがある。

- 1) コンクリートがポーラスなとき
- 2) コンクリートにひびわれが入ったとき
- 3) かぶり厚が少なすぎるとき

Schütze および Kordine は、実際のコンクリートについて観察した結果を報告し、ポーラスなコンクリートではかぶり厚が 25 mm でも不十分であるとしている。

Alekseiev および Kajifasz は、緊張した鋼線と緊張しない鋼線とを塩化物の溶液中に断続的に浸漬して、引張強度および伸びの劣化を測定している。それによると 5 ヶ月間で緊張した線の引張強さは 10% 低下し、伸びは 36% 低下したのに対し、緊張しない線では引張強さの低下は 0 で、伸びの低下は 17% であった。

表-1 P C 鋼 材 の 改 良

着 眼 点	国 名	鋼 材 分 類	改 良 点	長 所 お よ び 短 所
加工方法の改良	オーストリー	15φ以上の鋼棒	最終引抜きを2枚のダイスで行ない、続いて鉛浴に通し、コイルに巻き取る。	○直線加工と応力除去が同時にできる。 ○弾性限が上がる。
	ソ 連	鋼棒(10~25φ)	熱間圧延後ただちに焼入・焼もどしを行なう。	○熱の有効利用。 ○強度は 120~140 kg/mm <sup>2</sup> になる。 ○表面層と中心部とで強度が異なるのが欠点。
	日 本	鋼棒 32φ まで	高周波誘導加熱により焼入・焼もどしを行なう。	○強度は 150 kg/mm <sup>2</sup> までできる。 ○疲労特性、レラクセーション特性とも良好。 ○過去 10 年間事故なく使用されている。
断面積増加	フ ラ ンス	12 φ 鋼 線	18φの材料を冷間で引抜く。	○1本当りの引張荷重増加。 ○コイル径が 3 m 以上となり輸送上困る。
	イ ギ リ ス	7 本 より 線	7本より線をダイスで引抜く。	○同一径の普通より線より強度が 20% 上がる。 ○定着効率がよい。
引張強さ増加	日 本	7 本 より 線	素線の引張強さを 210 kg/mm <sup>2</sup> 以上にする。	○引張荷重増大。 ○疲労強度、レラクセーション、その他の性質は普通強度のものと同程度。
合金元素添加	西 ド イ ツ	熱 処 理 鋼 線	合金元素の種類を研究。	○高強度にしてもじん性は良好。 ○応力腐食に対しても引抜線と同程度に強い。
有効導入応力増加	イ ギ リ ス	鋼 線 ・ よ り 線	ブルーイング中に引張応力をかける。	○レラクセーションによる応力損失はごく小さい。 ○その他の性質はブルーイング品と同等以上。
施工性向上	西 ド イ ツ	鋼 棒	熱間で2面にねじ形をつける。	○任意の位置で定着できる。 ○転造ねじを作る必要なし。
ボンド性向上	日 本	鋼 線	冷間引抜後冷間圧延で表面に形をつける。	○伝達長縮少。 ○諸特性は同一径の丸線と同等。
ヘッディング	日 本	鋼 棒	高周波で表面を急速加熱し、油圧で頭打ちする。	○耐力は母材強度と同等。 ○15 mm φ まで可能。
鋼線巻付の改良	チ ェ コ	鋼 線	PCパイプに鋼線を巻付けるとき丸線を圧延し flat にする。	○線とコンクリートとの接触面が大きくなる。 ○応力の調整容易。 ○加工熱が出るので熱収縮が利用できる。

**b) 点食 (Pitting)** 点食は局所的な電気化学作用の結果として発生するもので、特にハロゲンイオン——コンクリートの場合は Cl<sup>-</sup>——の存在によって加速される。表面きず、微量の硫化物などによっても点食を起こす。またコンクリートにヘアクラックが入っても塩化物が浸透するようなどころでは点食の危険がある。

点食による被害は単に鋼断面の減少だけでなく、切欠き効果による応力集中をきたしじん性劣下(伸びの減少、繰返し曲げの低下)、疲労強度低下など無視できない。

コンクリートに塩化物を添加することの良否については意見が分れているが、コンクリートに少量の塩化物を加えてよく練っても、完全に均一になるとは限らないので、点食の危険がないとはいえない。Dumas はセメントの重量の 0.05% 以下にすべきだとし、Schütze は、0.03%以下にすべきだとしている。西ドイツではセメント中に 0.10%, 水中に 0.03%, 骨材中に 0.02% までの可溶塩化物を許容している。

**c) 応力腐食** 応力腐食とは金属が腐食媒と引張応

力の同時作用により結晶粒間または結晶粒内破壊を起こし、外見的にははっきりした損傷なしに破断する現象をいうが、その機構は現在のところくわしく知られていない。

このテーマについては Kanda, Russwurm & Rauen, Alekseiev, Cahill, Dumas および Stolte が報告を提出したが、Stolte を除いて、他の研究者が一致していることは、オイルテンパー線は引抜線より応力腐食に敏感であるということである。腐食媒として一般に塩化物溶液、硝酸塩溶液が用いられているが、実験に供された鋼材の化学成分が異なるため破断までの時間は大いに異なっている。

**d) 水素ぜい性** 水素ぜい性は硫化水素、ロダン化アンモン等によって起こり、応力腐食と非常に類似した現象であるが、機構的には全く異なったものである。応力腐食は陽極化作用であるのに対し、水素ぜい性は陰極化作用によるものである。

De Strycker の報告によると、オイルテンパー線は冷

写真-2 開会の挨拶をする Dr. Levi



間引抜線より水素ぜい性を起しやすく、特に Si-Mn 鋼、マルテンパー線は弱い。これは Kanda や Dumas の報告と符合するものである。ただし、Stolte は、これらの実験結果とは反対に、ロダン化アンモン溶液で実験したところ、熱処理鋼材が引抜鋼線より強かったと述べている。

e) コーティングによる P C 鋼材の保護 従来の規格によれば、P C 鋼材は有害な損傷を与えないように運搬し、工事現場では十分注意して保管し、緊張したものはできるだけ早急にグラウトを施すか、コンクリート中に埋めることになっているが、P C が、特殊な用途に使われるようになり、防錆処理を施す必要も生じてきている。

防錆方法にはいろいろあるが、いずれの場合でも鋼材に容易に付着し、ピンホールやポーラスな部分がないものでなければならない。

- |        |   |                                 |
|--------|---|---------------------------------|
| コーティング | } | (1) Epoxy                       |
|        |   | (2) Synthetic wax               |
|        |   | (3) Organic phosphate           |
|        |   | (4) Galvanizing (Zn めっき)        |
| 注 入    | } | (1) Sheath に油性 emulsion を充てんする。 |
|        |   | (2) Sheath に石灰水を注入する。           |

f) 混和剤 ある種の混和剤を使用すると腐食に対する危険性が大きくなることは事実であるが、コンクリート打ちや、グラウチングがかなり容易になることもまた事実である。したがって、混和剤の性質を十分見きわめることが必要で、腐食に対する影響、コンクリートのポロシティその他に対する影響をさらに調査研究してみる必要がある。

(2) 摩擦および付着

a) 摩 擦 物理的意味における摩擦係数は、接触圧および接触面積に関係しない一定の値であるが、P C 工事の現場においては理想どおりにゆかないことが多いので、つぎの点を考えに入れておかねばならない。

- 1) ケーブルの表面の粗さ
- 2) シース内面の粗さ
- 3) シース内におけるケーブルの配列状況
- 4) 曲線配置の場合はその曲率
- 5) ケーブル中の鋼線の相互関係
- 6) ケーブルの長さ
- 7) 鋼線の直径

摩擦係数はケーブルの形状、鋼線の表面状況によって異なるものであるが、同じケーブルについても国によって異なった値を示している。

b) 伝 達 長 伝達長の測定は原理的には 2 つの方法があり、いずれも困難なく測れる。

1) 軸方向に応力を入れた角柱

④ 伝達長はコンクリートの中心線上の軸方向のひずみを応力伝達の直前および直後読むことによって測定する。

採用者：Taketomi, Javor, Martin

⑥ 供試体の端における応力導入時の鋼線とコンクリートの相対的すべりを測定する。

採用者：Dumas, Bruggeling, Etienne

2) 引 抜 試 験

短かい供試体に埋込んだ鋼線を引抜き、引抜力から計算によって伝達長を計算する。

採用者：Martin

実験結果の例を示すと 表-2 のとおりである。

表-2 伝達長 (鋼材直径比)

鋼 材	実験者	伝達長 (鋼材直径比)		
		Martin	Taketomi	Javor
丸 線		350	—	—
2 個より線		180	—	—
フリンブ線		150	—	—
異形鋼線		110	30~45	70~100
異形断面線		70	—	—
異形鋼棒		40	18~22	—

3. 一般報告 グループ 7

テーマ 11: 事故例

事故例についてはフランス、ドイツ、オランダおよびポーランドから報告されただけで、報告が少なく、一般報告者 Xercavins の個人的な知識によるところが多い。逆にいえば、P C 鋼材が多量に使用されているにもかかわらず、鋼材が原因となって事故を起こしたような例が少なく、あえて報告するような内容がなかったことを物語っているといえよう。

事故例として報告されたものはつぎのとおりである。

(1) 腐食以外の原因による事故例

- 1) ケーブルの配置不良, 定着具の近くで, 急に曲げた。
- 2) シースに入れたケーブルを, カッターで切りそこねそのまま使った。
- 3) 長尺ストランドの素線の溶接部分が切れた。

(2) 腐食による事故例

1) グラウトしないケーブル

- ㊸ フランス: Tarare ダム…グリースによる防錆不十分のため緊張後3年目に破断。冷間引抜線使用。
- ㊹ フランス: Marcoule G2 原子炉…200 ケーブルのうち6ケーブルが破断した。シース中に乾燥空気を送り込むようにした。  
フランス: Boat-les-orgues ダム…2年間大気にさらした後, グナイトでカバーしたが効果なく破断した。

2) コンクリート中のケーブル

- ㊺ ポーランド: プレキャスト屋根材…コンクリートの水密性不十分のため, ジョイント部で事故。
- ㊻ フランス海岸地方の橋…施工後15年目にケーブルに沿って赤錆が出て, ひびわれが入った。締め固め不十分とウェブ厚不足(14cm)が原因。
- ㊼ オランダ: アルミを含むカップラーを使用したところグラウトを施したのち破断した。Steel と Al とで電池を形成したため破断。

4. 一般報告 グループ 2

テーマ 3: PC 鋼材のレラクセーション

テーマ 9: 現場における長時間の経験

一般報告書はソ連の Mihajlov がまとめたが, シンポジウムに出席できなかったため代読された。一般報告および討論はつぎのとおりである。

(1) 試験方法

鋼材のレラクセーションにおよぼす因子はつぎのとおりである。

- |          |             |
|----------|-------------|
| 1) 機械的性質 | 6) 試験装置     |
| 2) 化学成分  | 7) 初応力水準    |
| 3) 製造方法  | 8) 初応力の載荷速度 |
| 4) 表面形状  | 9) 試験温度     |
| 5) 前処理   | 10) 測定開始時期  |

試験装置としてはつぎの3つのタイプが一般に用いられている。すなわち

- 1) レバー式: 試験片のひずみを一定に保つように電氣的または機械的に荷重を減少させる方法。
- 2) 振動式: アバットに緊張した試験片の横振動の変化を測定する方法。
- 3) ロードセル式: 精密なダイナモメーターを介して

定着した試験片の荷重変化を測定する方法。

レラクセーション値は試験装置や, 試験条件によって異なるものであるが, 現在のところ試験装置や試験方法が国によっても, 研究者によっても異なっており, 他所で得られたデータを比較解析することは不可能である。世界的な標準化が望まれる。

(2) 初応力および時間の影響

レラクセーション試験において初応力は大きな影響をおよぼす因子の1つである。初応力が大きければレラクセーション(%)は大きい, 鋼材に残る応力(kg/mm<sup>2</sup>)を見るとやはり初応力の大きいものが大きい。

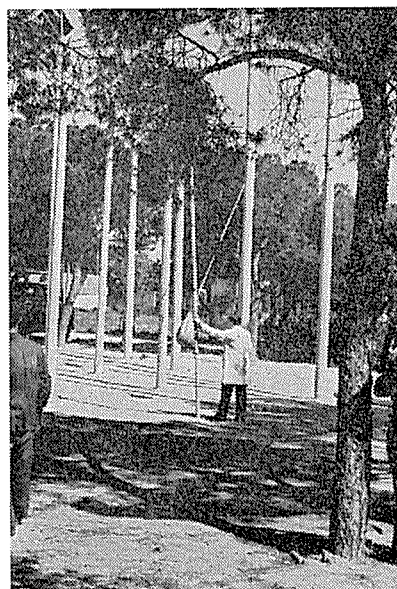
レラクセーション試験の時間についてみると, 最初の1時間で100時間の損失の50~60%が出る。初応力が引張強さの50~85%の範囲では, 最初の1時間が経過すると, レラクセーション速度はいちじるしく減少するが, 5年や10年試験を行なっても完全に0にはならない。ある試験結果によると, 8年後のレラクセーション値は1000時間の値の35~45%増であり, 100時間の値の約2倍であった。

(3) 機械的性質の影響

鋼材のレオロジー的挙動について, 最近非常に興味深い研究が行なわれ, PC鋼材の機械的性質とレラクセーション特性とを関連づけることも試みられている。一般に弾性限の高い鋼材のレラクセーションは低いことはよく知られているが,  $\sigma_{0.2}$  や  $\sigma_{0.02}$  でレラクセーションを表わす式も提案されている。

一方, 金属物理の立場からレラクセーションを転位論的に解釈し, 数式化する試みも行なわれ, スペインの参加者から説明があったが, まだ不完全なものであった。

写真-3 トロハ研究所におけるPCボールの実験

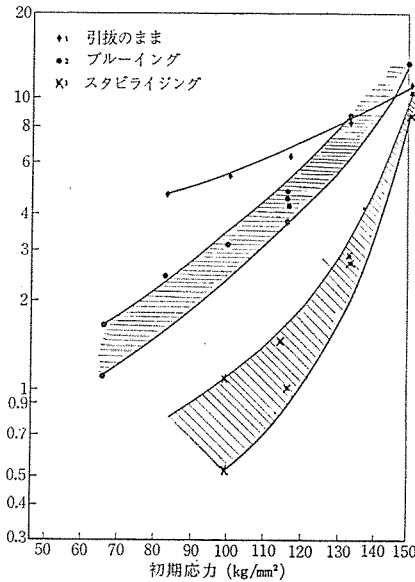


(4) レラクセーションの減少法

P C 構造物を長時間安全に維持するためには、緊張材のレラクセーションを少なくすることが必要である。その1つの方法として、従来プレストレッシングが提案され、ときどき実施されてきた。プレストレッシングによってレラクセーションがかなり低下することは多くの実験で明らかにされている。

最近イギリスで開発された“Stabilizing”と称する処理は、鋼線の製造中に高温でプレストレッチするものであるが、これによると、レラクセーションは極度に小さくなることが報告されている(図-1 参照)。Dumas も stabilizing と類似の処理を繰り返し施すことによってレラクセーションをほとんど0にすることができると述べている。

図-1 3 種類の鋼線の初応力とレラクセーションの関係 (Cahill による)



(5) 温度の影響

プレテンション方式の P C 部材では、鋼材緊張後蒸気養生のため 60~90°C に加熱され、オートクレープでは 170~200°C に達する。また P C 構造物の中にはかなりの高温にさらされるものもあるので、これらの条件下でのレラクセーションが問題となる。

実験によれば、レラクセーションによる応力損失は温度上昇とともに増加し、温度の影響は初応力の影響より大きい。

200°C までの任意の温度におけるレラクセーション値はつぎの式で求められる。

$$\sigma_T = \sigma_n + K(T - T_n)\sigma_0$$

ここで、

$\sigma_T$ : T°C におけるレラクセーション損失 (kg/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_n$ : 標準条件におけるレラクセーション損失

$\sigma_0$ : 初応力

$T_n$ : 標準条件の温度 °C

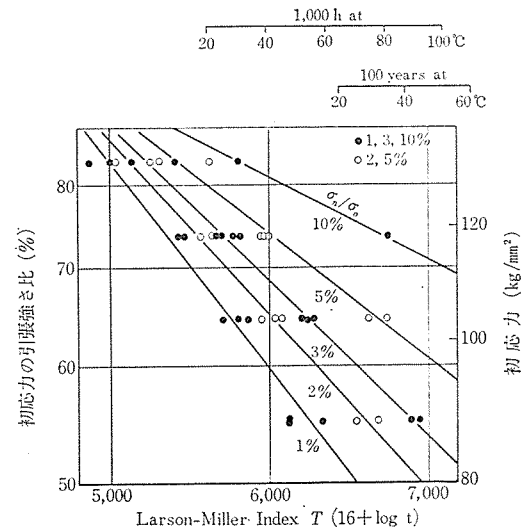
K: 定数 (=0.0010~0.0015)

(6) 加速試験

レラクセーションは長期にわたって継続するものであるから、P C 構造物の寿命を考える場合には、長時間後のレラクセーション値が必要である。しかし、レラクセーション試験を数十年にわたって実施することは不可能であるから、何らかの方法で推定せざるを得ない。

試験温度を上げるとレラクセーションが増加する現象を利用して、100~1000 時間の値から、長時間の値を推定する試みがなされている。すなわち、Stolte および Cahill は Larson-Miller 法を使って長時間レラクセーションを推定し、実測値とかなりよく合うことを認めている。

図-2 Larson-Miller 法による長時間レラクセーションの推定 (Stolte による)

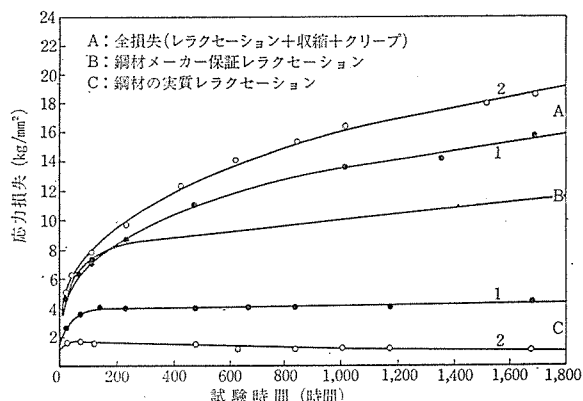


新しい動向として、フランスの最近の規格は加速試験を温度によらず、初応力を大きくする方法を採用している。すなわち、初応力を引張強さの 80% として、120 時間および 1000 時間の値を測定するようにしている。

(7) レラクセーションの実態

実験室的なレラクセーション測定データが P C 構造物の設計にどれほど役立っているか、ははなはだ疑問である。実験室的なレラクセーション試験では、初応力のかけ方は一応標準化されており、試験片のひずみは一定に維持され、温度も一定に保たれているので、純粋なレラクセーションが測定されているが、実際の P C では、緊張の方法、それに要する時間は工法により異なり、鋼材のひずみはコンクリートの収縮やクリープによって変化し、また温度は昼と夜、夏と冬とで変化する。こうした

図-3 コンクリートの収縮およびクリープによる緊張材の応力損失 (Dumas による)



条件下での鋼材のレラクセーション挙動は複雑である。

Dumas は コンクリートの収縮およびクリープを考慮に入れたレラクセーションの実験を行ない、鋼材だけの純粋なレラクセーションは 200~300 時間で停止することを見い出している (図-3)。

実験室的な試験では、レラクセーションは増加し続けるように見えるが、PC 部材の中ではコンクリートの挙動に左右されて、レラクセーションは比較的短時間のうちに終息していることになる。

### 5. 一般報告 グループ 4

#### テーマ 5: PC 鋼材におよぼす温度の影響

一般報告者は Behar。このテーマは範囲が広いので鋼材の機械的性質におよぼす温度の影響、熱処理、熱サイクルの影響等に限定して討論された。

#### (1) 低 温

a) レラクセーションにおよぼす影響 De Strycker, Dumas および Iwata の報告によると、0°C 以下では鋼材のレラクセーションおよびクリープは非常に小さい。

b) 脆 性 20°C~ -150°C での引張試験では引張強さ、降伏点とも常温の値とほぼ同じであるが、絞りやや低下している。特に大きなぜい化は認められていない。

#### (2) 高 温

a) レラクセーションにおよぼす影響 研究者のすべてが温度を上げると、レラクセーションが加速されることを認めている。De Strycker によると初応力が 102 kg/mm<sup>2</sup> でレラクセーションが 3% に達する時間は 表-3 のとおりである。

Iwata は PC 部材の蒸気養生およびアスファルト舗装の影響を調べ、蒸気養生の場合は普通のレラクセーションの他に 2%

表-3

温度(°C)	時間(分)
20	2.5×10 <sup>5</sup>
40	8.6×10 <sup>3</sup>
60	8.5×10 <sup>2</sup>
80	8.0×10 <sup>1</sup>
100	1.2×10 <sup>1</sup>

増加し、アスファルト舗装では 2~3% 増加すると述べられている。

Nakagawa は 5 mm の引抜鋼線を常温で緊張し、温度を -50°C から +50°C まで変化させてレラクセーションを測定しているが、やはり温度による加速を認めている。

b) 強度・伸びに対する影響 Tomioka と Dumas は高温引張試験を行っており、引張強さおよび降伏点が温度とともに低下することを認めている。しかし、伸びについては Tomioka が温度とともに増加するとしているのに対して、Dumas は逆に温度とともに低下するとしている。これは前者が絞り部分をふくむ破断後突合わせ伸びを測定しているのに対し、後者が絞り部分をのぞく突合わせ伸びを測定しているために差が出たものと思われる。

c) 熱 処 理 Somerset process および TCBH process は、ブルーイング時に応力を加えるものであるが、レラクセーションを小さくする効果があると報告されている。

### 6. 一般報告 グループ 5

#### テーマ 7: PC 鋼材の疲労強度

報告はソ連、フランス、ドイツ、日本、スイス、チェコおよびベルギーから提出され、ベルギーの Baus が一般報告を行なった。Baus が強調した点はずぎのとおりである。

たいていの PC 構造物では変動荷重は非常に小さく、安全上特に問題になることはないが、導入応力に対して変動応力が大きくかかるような構造物や、活荷重に振動荷重をともなっているような場合には疲労を考慮しなければならない。

#### (1) 疲労試験の方法

現在のところ、PC 鋼材の疲労特性を測定する標準的な規定がないので、研究者によってまちまちの方法を採用し、結果の表現も異なっている。したがって、早急に試験の方法および条件を決めることが望まれる。

提出された 8 件の報告によると、試験片長は 300 mm ~ 数 m、応力振動数 250~4 500 c/min であるが、試験片長は直径の 100 倍 (最低 1 m)、振動数 200~600 c/min がよいと主張するものもあった。しかし、鋼について数多く実験したところでは 5 000 c/min くらいまでは振動数の影響はほとんどなく、それ以上になると、疲労強度が増加する。

#### (2) 試験結果のばらつきについて

疲労試験結果の統計的研究はまだ少ないが、ある応力における繰返し数の対数は、ほぼ正規分布するものと

思われる。したがって、RILEM-FIP-CEBの暫定的な規定では200万回耐久限を決めるのに、同一応力で2~3本試験するようにしている。

PC鋼材の疲労試験において早期破断の原因としてはつぎのようなものがある。

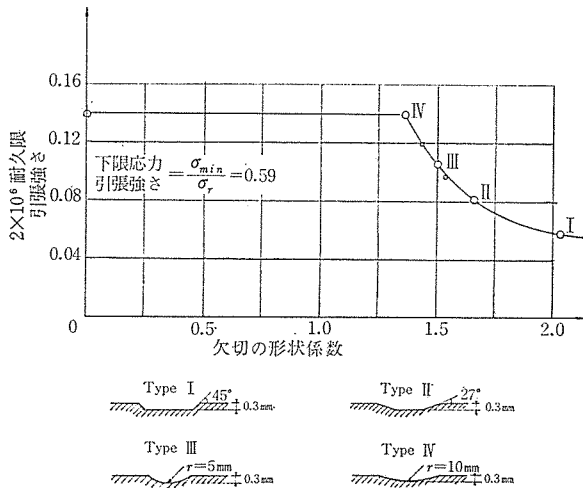
- 1) 金属組織的なもの：① 脱炭，② 非金属介在物，③ 不完全な金属組織
- 2) 製造方法からくるもの：④ 表面状況
- 3) 外傷によるもの：⑤ 運搬中の外傷，⑥ 保管中のさび

疲労試験によって、このような欠陥がかなりはっきりわかるので、Rehm および Russwurm は鋼材の受入検査として疲労試験を行なうべきだとしている。

### (3) 疲労強度の研究

Wascheidt は異形鋼棒についてリップの高さ、傾斜、基盤の形状、つけ根の丸味などの疲労強度におよぼす影響を研究し、形状によっては、平滑丸線の半分の強度になることを認めている。Gorodrisckij および Konevskij は5mmの鋼線に種々のインデントをつけて、形状と200万回耐久限との関係を調べ、切欠きの形状係数が、1.36以下のインデントであれば丸線の同等の疲労強度になることを示している(図-4)。

図-4 インデントの形状と疲労強度の関係  
(Gorodrisckij & Konevskij による)



Bazant はブルーイングの効果を調べ、ブルーイングによって静的引張強さが15~20%増加すると同時に疲労強度も20%程度増加したと述べている。またBo および Leporati によるとプレストレッチングによっても疲労強度が増加することが認められている。

ボンドを期待しない free tendon では、緊張材にかかる応力がそのまま定着具にかかるので、定着部の静的・動的強度を鋼材自体の強度にすることが最も望ましいことである。Tanaka は5,7 および 8 mm の鋼線は種々

の形の冷間製頭を施し、定着部の100万回耐久限を測定し、形状と疲労強度の関係を調べている。Webergen と Siegwart は吊橋などに用いる定着具として鋼線に冷間製頭を行ない、疲労強度の高い形状を見い出している。

ソ連およびベルギーから提出された報告は、ストランド(鋼より線)の疲労強度を扱っているが、いずれも非常に低い値を示している。これは応力の変化のたびに素線がねじれたり、こすり合ったりすることにもよると思われる。

### (4) ボンドおよびひびわれとの関連

コンクリートおよび鋼材個々の疲労特性が解っても、プレストレストコンクリート構造物の疲労特性は解析できるものではない。Wascheidt は鋼棒についてコンクリートに埋込んだものと埋込まないものとの疲労強度を比較し、このデータがPCに応用できるかどうかについて考察を行なっている。

PC部材の疲労破壊は一般にコンクリートのひび割れから始まる。コンクリートのひび割れ応力以下の応力では緊張鋼材の疲労破壊は起り得ない。コンクリートにひび割れが発生してはじめて鋼材の疲労が問題になるわけであるが、応力状態はつぎの4つの場合それぞれ異なっており、疲労特性も異なることに注意しなければならない。

- 1) Free tendon : ボンドなし。部材の曲げ曲率に従わない場合
- 2) No grout post-tensioned tendon : ボンドなし。部材の曲げ曲率に従う場合。
- 3) Strongly bonded tendon
- 4) Fairly well bonded tendon

プレテンションおよびポストテンションのはりの疲労試験では、ボンドをあまりきかさないポストテンションのはりが最もよい結果を示している。

## 7. 一般報告 グループ 6

### テーマ 10 : 統計および確率

一般報告はベルギーの Brenneisen である。

PC部材に限らず一般の材料についても動的・静的研究が多く行なわれているが、最終の目的は実際の構造部材なり、構造物の動作や強度をより正確に予想することである。実験や試験ではばらつきが出るが、その原因の中にはつぎのものが含まれる。

- 1) 鋼材の化学成分
- 2) 製造方法
- 3) 保管、運搬方法
- 4) 試験条件

このテーマでは主につぎの事項について論じられた。

- 1) 各種機械的性質の定義および分布
- 2) 保証値の決め方およびチェックの方法
- 3) 各種機械的性質の相関関係

Roš および Speck は、7 mm 鋼線 121~163 本構成のケーブルの破断強度と素線の引張強さおよび伸びとの関係を調べ、ケーブルの強度は素線の強度の平均に等しく、ケーブルの伸びは素線の絞り部分を除く伸びに等しいことを実験的に証明している。

Kusakin は圧延鋼棒について引張強さと化学成分との関係を調べ、一般式を導き、10%以下の誤差で合うことを確かめている。Suchy と Vorlicek は数百本ののぼる鋼線の応力-ひずみ曲線を描き、統計的手法によって標準的な曲線を作っている。レラクセーション試験については Bruggeling と Binnekamp が研究し、実験をもとに「レラクセーションの法則」を作る努力をしている。

## 8. あとがき

今回は第1回のシンポジウムであったが、提出されたレポートは多数にのぼり、参加者も定員一杯でなかなかの盛況であった。日本からはPC鋼材メーカー5社がそれぞれ特徴のあるレポートを提出し、参加者の注目を集めていたことは、われわれ日本からいった者一同の意を強くした。参加者には一般報告書 (General Report) が前刷として配布されたが、国または会社によっては個々のレポートを印刷して配布してくれるところもあった。これは詳しい内容を知る上で非常に有益であるから、日本からのレポートもそうするとさらに良かったと思う。

シンポジウムの前後にフランスの大ゼネストがあり、困難な状況であったが、成功のうちに終了することができたことは FIP 事務局および受入国スペインの関係者の尽力の結果であり、心から敬意を表したい。

1968.8.26・受付

# Freyssinet

## METHODS

### ■ 営業種目 ■

- プレストレストコンクリートの計画・調査・設計・施工・指導管理
- プレストレストコンクリート用機材の製造・販売・貸与
- フレシパット (ゴム支承) の製造販売

**F.K.K.**

**極東鋼弦コンクリート振興株式会社**

取締役社長 藤田 亀太郎  
工学博士  
東京都中央区銀座六丁目二番十号  
電話 (571) 8 6 5 1 ~ 4