

# コンクリートと人 1960 – 2000

2019.11.30

2019年11月30日に、(株)コムスエンジニアリング設立20周年記念事業の一環として、東京大学工学部1号館15号室にて、表記のタイトルで講演しました。100名ほどのごく親しい方々を対象としたもので、前川宏一教授に助けていただき、気持ちよく話すことができました。事前の手配及び当日の準備その他に、石田哲也研究室の方々、特に、田畑和泉さんに大変お世話になりました。

心より、感謝いたします。

その際に使用したスライドに、講演の内容を加えてみました。

## 二人の師 コンクリート・大学人・生き方

1966.08 - 68.03 テキサス大学

國分正胤先生 1914 - 2004

Prof. Ferguson 1900 - 1990 ?



80%共通



研究途中で報告するとすぐ理解してくれる <>

すぐには理解してくれない

コンクリートのみならず大学人としてのあり方、人としての生き方の師二人に最初に触れたい。

國分正胤先生は、1914年生まれ、25歳年長です。東京大学土木工学科の学生として、また直接の上司として、20歳から35歳までの多感な時代および先生が亡くなられた2004年に至るまで人生の師と仰いだ方です。

Prof. P. M. Ferguson は、1900年生まれ、38歳の年齢差です。テキサス大学の研究員として、1996年8月から1968年3月までの18ヶ月、師と仰いだ方です。

その後も、CEB の会合などで多くの機会にお会いすることができました。テキサス大学での研究生活で、Ferguson 教授には違和感をほとんどもちませんでした。國分先生と本質的に同じだったからだと思います。

最初に、お二人の相違を感じたのは、研究結果を説明した時でした。私の小文を読み終えて、何かを感じたらしく、いくつかの質問をされましたが、理解してくれたとは思われませんでした。

翌朝秘書がタイプした文を渡し、私の説明した内容はこれですかと言われました。それを読むと、私が書いたことを完全に理解しているだけでなく、その位置づけを正確に記述された内容となっていました。

教授には、ご自身の体系があり、私の説明はその体系の中にはなかったのではないのでしょうか。そこで、じっくりと考え、その体系の中に、採り入れてくれたと思いました。

國分先生は、私の説明を聞くと、私の脳に格納されていることが、そっくり先生の脳に移行されているのです。したがって、次の機会に進歩した内容を報告すると、直ちに、その格納場所に入るのだと解釈すると、お二人の相違の理由が理解できたと感じた瞬間でした。

二人の師の思考・行動は、80%は同じであり、残りの20%は全く正反対であると感じました。そして、それが、その人の個性を形づくっていると解釈できます。

お二人に共通する80%は全て学ぶ必要のあることだと気付きました。このことが二人の偉大な師を同時に持つことができた私の宝です。

私の先輩の西野文雄教授は、修士を終えた学生を、自分が教えられることは、十分に学んだからと、米国に留学することを勧めておられました。西野さんも米国で博士課程を修了する経験から、私と同じことを学んだのではないのでしょうか。

# 國分正胤先生の研究方法

1

(新旧コンクリートの打継目, 1950)



先生の研究方法の第一の特徴は、予備実験を重視することです。予備実験によって、結論を得るかあるいは新しい仮説を立て、それに基づいた膨大な本実験を行い、論文にはその結果を基に説得ある論旨を述べるのです。その結果、示方書の条項に反映して、実用化される。学位論文「新旧コンクリートの打継ぎ目(1950)」は、その一例です。

土木学会論文集に公表された「各種 AE 剤の使用方法(1955)」は、AE 剤を用いたコンクリートの配合と強度・耐久性等との関連を明らかにした先生の代表的な論文です。

当時入手できるすべての AE 剤について、膨大でかつ正確な実験を行っています。一つの値は、3バッチから得られる実験値の平均値ですが、最初のバッチのスランプ値が7.2cm、空気量が4.2%であると、次のスランプ値は6.8cm、空気量が3.8%となるように配慮し、3バッチの平均スランプ値が7.0cm、空気量が4.0%となるように工夫する実験方法をとっていました。コンクリート温度も測定しています。

この論文に基づく AE コンクリートの配合表は、学会示方書に採用され、AE 剤の普及に繋がっていきました。

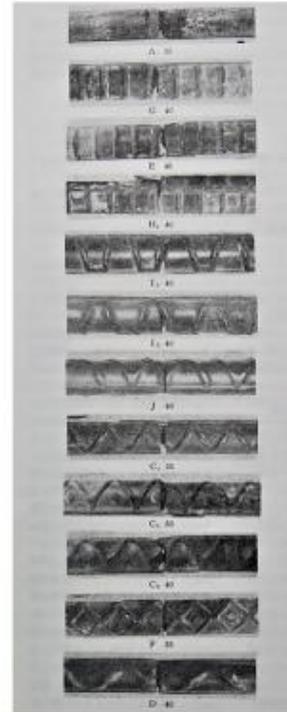
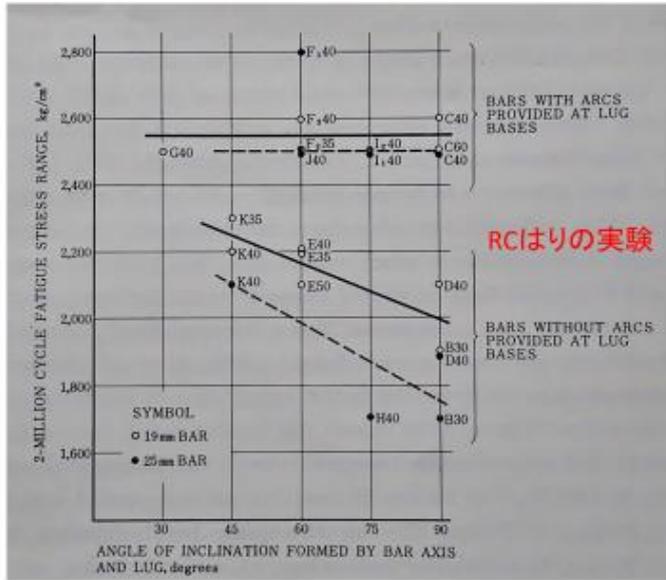
# 異形鉄筋の疲労強度

全ての異形鉄筋を実験



鉄筋の疲労破断位置

2



異形鉄筋の疲労に関する私の研究は、まさに先生の研究方法に沿ったものであり、当時市販されていたすべての鉄筋のみならず、製鉄会社が試作した鉄筋のすべてを実験しました。その結果を一枚の図にまとめることができました。

疲労破断面がふしを横切るので、ふしが鉄筋軸とのなす角度が疲労強度に影響します。

ふしの根元にアークを設け、そこに作用する応力集中を緩和すれば、ふしと鉄筋軸との角度に関わらず明らかに疲労強度は増加します。

しかし、異形を設ける製造過程を見れば、この効果を確実に担保することは困難と考え、設計に用いる異形鉄筋の疲労強度にはこの効果を無視する案を示方書委員会で提案しました。

## 異形鉄筋とコンクリートの付着

- 1962.12 最初の論文:後藤幸正と國分正胤との連名  
異形鉄筋とコンクリートとの付着に関する研究
- 1966.01 國分正胤との連名  
コンクリートに対する異形鉄筋の付着性状に関する研究
- 1970.05 高橋正泰との連名  
軽量コンクリートと鉄筋との付着
- 1972.08 國分正胤との連名  
太径鉄筋の使用に関する研究  
異形鉄筋の付着性能を支圧面積係数(BA)で表すことを提案  
 $BA=(\text{有効高さ} * \text{純投影長さ}) / (\text{間隔} * \text{周長}) \geq 10\%$



D51

國分先生との連名で、1972年に発表した「太径鉄筋の使用に関する研究」もその一例です。異形鉄筋の付着に関する情報を得るために、表面形状を種々に変えた鉄筋を作成して実験しました。

実験結果に基づいて、異形鉄筋の付着性能を表すための指標として、  
**支圧面積係数** = (ふしの有効高さ × 純投影長さ) / (ふしの間隔 × 周長)  
 を提案し、直径51mmの太径鉄筋では、この値を10%以上とするのが適当であると指摘しました。太径鉄筋を用いる場合には、この点をチェック願います。

## 学部学生時代(硬式野球部所属)

最初に渡されたのは、**Concrete Manual**

U.S. Army Corps of Engineers

Hoover Dam



Bryant Mather



次に、國分先生考案の空気量測定法の**評価**  
凍結融解試験用供試体を直接測定

卒論テーマ:**コンクリートの凍結融解**

学部学生時代にコンクリート研究室に所属し、最初に読むようにと渡されたのは、**Concrete Manual** でした。この冊子は、Bryant Mather 率いる Corps of Engineers, US Army が作成したコンクリートの材料施工に関するマニュアルで、もちろん英文で書かれていました。ほとんど読むことができませんでした。

次に、凍結融解試験用供試体の空気量を直接測定する「國分先生考案の方法」の評価を指示されました。この方法は、測定の際に、圧入した空気を抜くときに、試料が乱されるので、空気量を測定しない供試体とは、強度が異なると報告しました。私のテーマは、コンクリートの凍結融解でしたが、この方法を採用しませんでした。

## 4年秋 3勝5敗2分

法大 000 000 005 5	△ 明大 000 010 000 00 1
東大 000 000 000 0	東大 001 000 000 00 1
東大 000 000 000 0	東大 003 000 010 4
× 法大 013 010 61X 12	○ 明大 200 001 001 3
東大 001 000 000 1	○ 明大 000 000 000 0
△ 早大 000 000 100 1	東大 000 010 00X 1
早大 000 031 002 6	東大 102 000 020 5
東大 000 000 000 0	○ 立大 010 000 100 2
× 早大 200 000 21X 5	立大 200 100 000 3
東大 000 000 000 0	東大 000 000 000 0
× 慶大 000 113 01X 6	東大 041 000 010 6
× 慶大 010 300 300 7	× 立大 403 102 00X 10
東大 000 000 000 0	

夏休みは、午前中実験室で実験に従事し、午後は練習の毎日でした。凍結融解試験に供する試験体を作製する作業は、腰に悪く、特に型枠掃除には閉口しました。リーグ戦では、開幕日に登板することさえできないほど不調で、東大は開幕から7試合勝ちがありませんでした。そこで、実験を止め、野球に専念することにしましたが、先生は、これを見逃してくれました。

すると、調子が戻り、最後の2週は3勝2敗1分けで、最下位を免れることができました。

上図における赤字が私の投げたインニング、青字がリードしたインニングを示しています。

最終戦を完投負けで、4年間の野球生活を終えました。それまで、4点以上の得点を挙げた7試合はすべて勝っていたのに、最後の試合で無様な自分をさらしていました。

## 修士時代(東京六大学審判)

### 1962. 12 最初の発表論文

後藤幸正と國分正胤との連名

異形鉄筋とコンクリートとの付着に関する研究

### 銚子大橋に使うコンクリートのクリープ試験

田中五郎氏(三井建設)からの委託実験

クリープ変形の測定にコンタクトゲージを使用

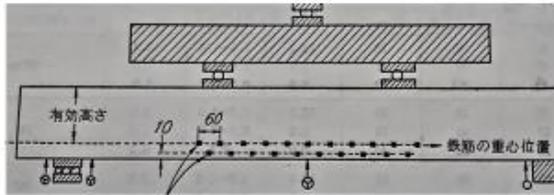
修士在学中(1962年12月)に最初の論文「異形鉄筋とコンクリートとの付着に関する研究」を発表しました。この論文の著者は、國分正胤、後藤幸正、岡村 甫です。

「冷間ねじり加工により降伏点を高めた鉄筋」を用いた東北大学の実験が、「成分調整によって高強度とした鉄筋」を用いた東大の実験と共に掲載されています。國分先生が主導した「土木学会コンクリート委員会の共同研究」の一環でした。

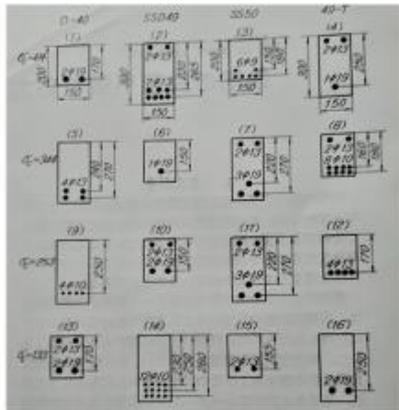
この時期に先生の同級生・三井建設の田中五郎重役から依頼された「クリープ試験」を任せられました。銚子大橋に使うコンクリートのクリープ試験結果を報告するという実験でした。

試験装置と測定装置が供与されました。いずれも私にとって初めて使うものでした。この実験を通じて、クリープに関する論文を読み、一応の知識を得ることができました。国際会議における最初の発表論文(1970年)は、「Magnitude of Creep and Shrinkage for Design of Light-Weight Concrete Structures」です。

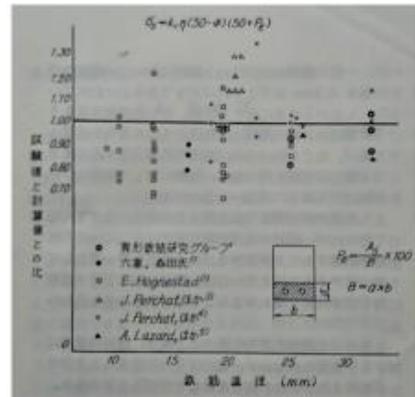
修士論文: 鉄筋の許容引張り応力度に関する研究 1963.10



コンタクトゲージ  
(クリープ試験の応用)



実験計画法  
4 × 4



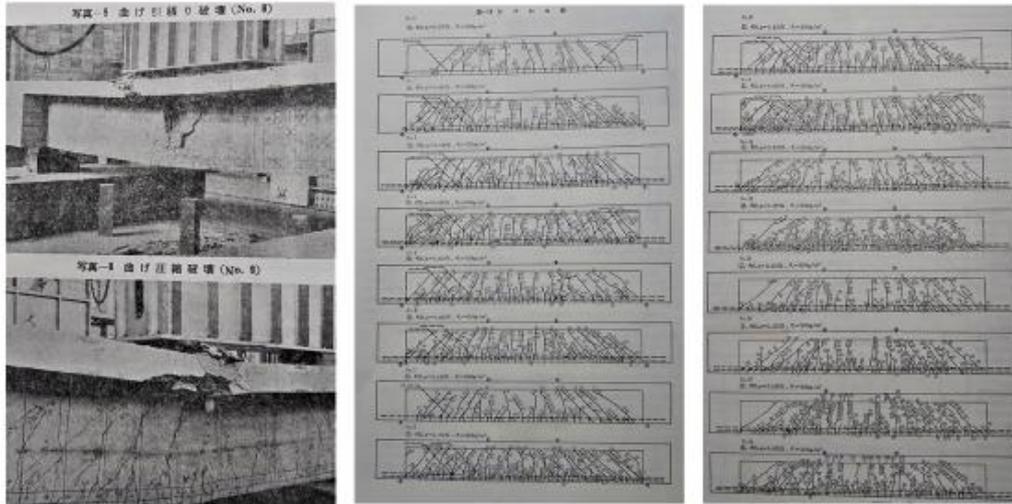
既往の実験との比較

私の修士論文のタイトルは、「鉄筋の許容引張り応力度に関する基礎研究」(セメント・コンクリート, 1963.10)でした。常時開いているひび割れの幅を 0.2mm 以下に制御する必要があるとされていたので、高強度の鉄筋を有効に用いるためには、発生するひび割れ幅の算定式が必要でした。私もこの問題に取り組み、4種のパラメータ(コンクリートの強度、鉄筋の種類・直径、有効鉄筋比)を要因分析法に基づいて組み合わせた16体の鉄筋コンクリート長方形はりを作製し、そのひび割れ幅を測定しました。

ひび割れ幅の測定には、はりの側面において底面から1cmおよび鉄筋重心位置に、6cm間隔にクリープ試験に用いた「コンタクトゲージ用のボール」を打ち込んだ鋼小板を張り付け、載荷に伴うゲージ間隔の長さ変化を測定し、その変化をひび割れ幅としました。この方法は、ひび割れ幅測定法としては、他の方法に比して、簡便かつ正確な方法ですが、私たち以外にこの方法をとる研究者はいません。

建設省土木研究所

ひびわれを詳細に検討



先生のお骨折りによって、土木学会に吉田賞が設けられ、若手研究者を支援する「吉田研究奨励賞」が設けられました。その最初の賞の一つが、松本喜司(東京大学)、中村正平(建設省土木研究所)、河野清(小野田セメント)、中山紀男(日本セメント)、岡村 甫(東京大学学生)の5名による共同研究に与えられました。

土木研究所に通って、大型供試体を用いた曲げ載荷試験に励みました。その成果「各種高張力異形鉄筋を用いた鉄筋コンクリート大型ばりの曲げ性状」を土木学会論文集(1965.10)に投稿して、共同研究は終わりました。

河野さんと中山さんは会社から給与を貰い、交通費も会社持ちであるにも関わらず、私は無給の上、交通費を自費で支払う毎日でした。ずいぶんと待遇が異なることに最初は不満を覚えました。好きなことしかしないで良い私の身分の方を最後には好ましく思えるようになりました。

各種高張力異形鉄筋の相違が鉄筋コンクリートばりのひびわれ幅に及ぼす影響

博士論文の一部(元論文では100頁、発表論文では2頁)



表-5 各種高張力異形鉄筋の相違が鉄筋コンクリートばりのひびわれ幅におよぼす影響

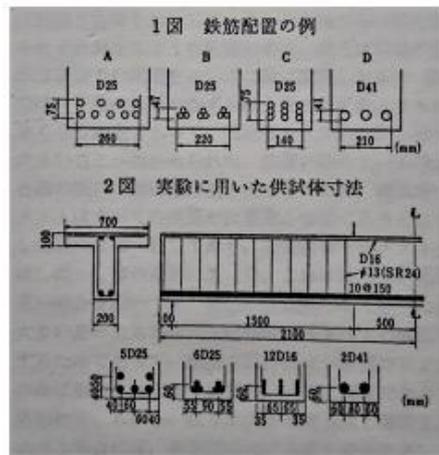
鉄筋	試体	鉄筋応力度が 2 000 kg/cm <sup>2</sup> のときの最大ひびわれ幅 (mm)				同方向のくり返し最大応力による最大ひびわれ幅の増加率(%)	
		I 型 <sup>(a)</sup> (T 形ばり) スパン 120 cm 直径 19 mm	II 型 <sup>(b)</sup> (T 形ばり) スパン 120 cm 直径 25 mm	III 型 <sup>(c)</sup> (T 形ばり) スパン 200 cm 直径 25 mm	IV 型 <sup>(d)</sup> (短形ばり) スパン 120 cm 直径 25 mm	I 型 <sup>(a)</sup> (T 形ばり) スパン 120 cm 直径 19 mm	IV 型 <sup>(d)</sup> (短形ばり) スパン 120 cm 直径 25 mm
大	鋼 A 30	0.189 (1.49)	0.160 (1.27)			123	
JIS に十分適合する異形鉄筋	B 30	0.133	0.13		0.190		4
	G 40	0.128			0.170		8
	E 40	0.139	0.14	0.120	0.173		10
	E 60	0.140	0.10				3
	H <sub>1</sub> 40	0.130					6
	I <sub>1</sub> 40		0.127		0.190	0.178	12
	I <sub>2</sub> 40		(1)	(1)	0.183	(1)	21
	C <sub>3</sub> 35	0.113		0.127			15
	C <sub>2</sub> 40	0.137	0.14	(1)			4
	C <sub>3</sub> 50	0.122					13
	C <sub>4</sub> 40				0.183		19
F 35	0.123					14	
F 40	0.125	0.12		0.190		8	
H <sub>2</sub> 40			0.133				
JIS に適合するが寸法の異なる異形鉄筋	I <sub>1</sub> 40				0.173		48
	C <sub>4</sub> 35				0.210	0.191 (1.07)	51
	C <sub>4</sub> 40	0.129 (1.02)	0.16 (1.27)	0.170 (1.34)		18	50
	J 40				0.190		51
JIS に適合しない異形鉄筋	D 40	0.140 (1.10)	0.150 (1.19)			60	

多くのはりでひび割れ幅を測定しましたが、結局、良い算定式を提案するには至りませんでした。

博士論文ではこの項は100頁にも及びますが、外部へ発表した要約は2頁に過ぎません。しかし、鉄筋配置を見れば、ひび割れ幅を当てることができるだけの知識が蓄積され、このことは、テキサス大学で実感できました。

## 峯尾隆二：鉄筋コンクリートばりの配筋に関する基礎研究, 1969.05

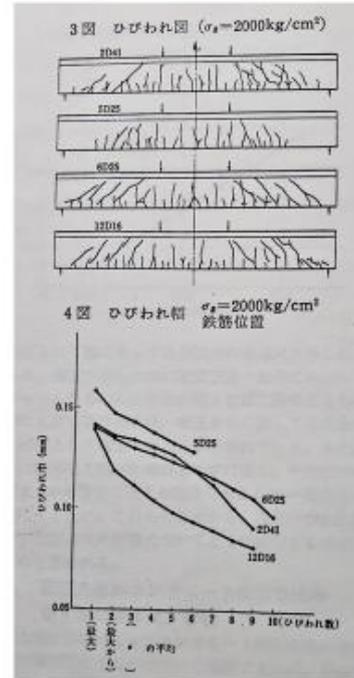
0



3 表 ひびわれ幅の比較

ひびわれ幅	2 D41	5 D25	6 D25	12 D16	
ひびわれ幅 (mm)	16mm	26mm	25mm	41mm	
実 測 値 <sup>1)</sup>	0.110mm	0.142	0.137	0.148	
註	1) CR25 式	0.082(1.43)	0.124(1.35)	0.114(1.20)	0.191(0.77)
	2) Procon 式	0.124(0.96)	0.161(1.30)	0.143(0.97)	0.255(0.58)
	3) Kasei-Mattuck 式	0.113(1.47)	0.138(0.83)	0.120(1.44)	0.178(0.86)

1) 最大のものから3つのひびわれの平均  
2) A~Cは実測値/計算値



私と連名の論文「鉄筋コンクリートばりの配筋に関する基礎研究」を当時修士学生の峯尾隆二さんが、セメント技術大会で発表しました。コンクリートの打ち込み易さとひび割れ幅との関係を扱ったものです。

# セメント技術大会発表時の質疑応答(修士学生)<sup>1</sup>

**平沢(京大):**最大ひびわれ幅の測定方法、位置について

**峯尾:**モーメント一定の鉄筋位置にコンタクトゲージ用のボールを打込んだ鉄片を10cm間隔に貼って測定し、ひびわれはその(ほぼ10cm間隔に1本の割合入っていましたので、その間の差をひびわれ幅と考えています。

**平沢:**その場合、2つの載荷点の下に最大ひびわれが出たと思います、その幅はどうされましたか。

**峯尾:**いずれの供試体も載荷点下には生じておらずにずれております、これは小型ばりとは違ってはりの高さも高い大型ばりであるのでモーメントの変化がゆるやかであるためと思います。

**森田:**同じ荷重下におけるひびわれのばらつきは非常にランダムでして、少数の実験結果の測定値の最大値が

**(京大)** 同じ条件下での本当の最大値かどうか、疑問があるわけです、むしろ、平均値でチェックされる方が正しいのではないかと、たまたま1つだけ非常に大きなひびわれができるという場合もあるわけで、その辺の処理はどういう風にお考えになりますか。

**峯尾:**その点に関しましては、ひびわれ幅の大きいものから順に並べまして、その平均したものの数を最大のもの1つとか2つとか変えていって、10個まで平均したものですべてグラフに書いてみましたが、いずれも傾向が同じであったので最大ひびわれ幅として上から2つの平均をとったものです。

**森田:**平均値に対する最大値の比がどれも同じである、そういうことですね。

**峯尾:**傾向がですね。

**坂:** ただ今の実験は支点反力がエンドの方で主筋を横から押しているという、定着に関して非常に有利な条件になっている。ですから、そういう太いものを実際に使ってもよるしいということでしたら、やはりはりの横から、はりの下へ取り付けた、そういう状態でいっぺん試験していただかないと、何となく不安を感じるわけです。

**峯尾:** 本実験の結果は単純ばりの端部定着に関しまして、一応の目安が得られたものと思っておりますが、なおご指摘に点につきましては今後検討を加えていきたいと考えております。

この時の質疑応答が当時の状況を物語っていますので、全文紹介します。 京都大学グループの質問に対する峯尾さんの応答が素晴らしいことがお分かりになると思っています。 私が修士の学生の時にも同様な質疑応答を行ったことを思い出しました。



峯尾隆二(所長)  
羽田空港(海上)



森田司郎



峯尾さんは鹿島建設に入社し、役員として、羽田空港の10社を越える共同体の総括所長を務められました。誠実で、賢い彼の実力が十分に発揮されたことと思います。

森田司郎氏は、京都大学教授、コンクリート工学会の会長等の要職を務められ、常に、私と同様な研究(ひび割れ、付着等)を続け、互いを尊敬できるようになりました。

1964年(博士課程学生) 野球部助監督(2年間)

清水健太郎監督 國分正胤部長

東京オリンピック  
東海道新幹線・首都高速道路

日本工業規格:鉄筋コンクリート用棒鋼  
SD50までの高強度異形鉄筋を規定



榎本 松司 技官

研究テーマ:高強度異形鉄筋(土木学会)

(1) ひびわれ幅<<高強度:スウェーデン(1940)

(2) 疲労<<異形鉄筋の表面形状:ドイツ(冷間ねじり加工)  
富士製鉄室蘭(横道先生指導)

博士課程に進学した当時は、東京オリンピックの開催に向けて、東海道新幹線や首都高速道路の整備が急ピッチで行われており、日本工業規格に高強度異形鉄筋が規定されるなど、我が国が高度成長に向かっている頃です。

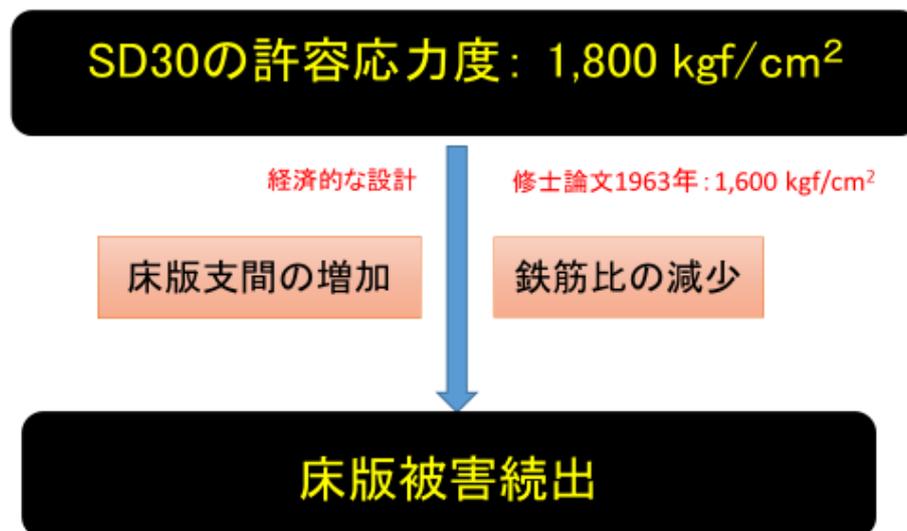
東京大学野球部の監督就任を渡辺融監督から要請され、その旨を國分先生に申し上げました。先生は、「監督はダメだ。助監督であれば良い。」と言われ、そのことを野球部長の清水健太郎医学部教授(脳外科の大家、伝説の名捕手)に話されたところ、清水先生は、「それでは私が監督になるから君は部長になれ」と言われ、國分部長、清水監督、岡村助監督の陣容の東大野球部が誕生しました。

博士課程のテーマは「高張力異形鉄筋の使用方法」、実験はすべて榎本松司技官のお世話になりました。

第二次大戦中から高強度鋼(KAM STEEL)が製造されていたスウェーデンでは、ひび割れ幅の算定式を用いた設計法に基づき、すでに、高強度異形鉄筋が実用されていました。各国も争って、高強度異形鉄筋の活用を図っており、ドイツでは疲労が重要な課題に挙がり、米国ではひび割れ幅の研究が盛んでした。

我国でも尼崎製鋼が先鞭をつけ、高強度異形鉄筋の製造を開始していました。そして、東海道新幹線には疲労強度が高いとの理由で、デーコンが用いられました。

## 1964年制定 RC道路橋示方書 小委員会幹事



1964年に、RC 道路橋示方書が初めて制定されました。その原案作成小委員会（猪股俊司小委員長）に幹事として参加したのは、修士の学生の頃です。

この時のポイントは、高強度の異形鉄筋の活用でした。猪股委員長は、当時使用されていた丸鋼に変えて、異形鉄筋の利用促進が必要であると考えていました。丸鋼の規格降伏点24の許容応力度が14でした。規格降伏点30の異形鉄筋の許容応力度を18とすることを提案し、それが採用されたのです。

輪荷重から設計曲げモーメントを求める簡易式の変更も同時に行われました。改定前に設計されていた床版について、より正確な計算を数多く行った結果を、簡単な式で表したのです。

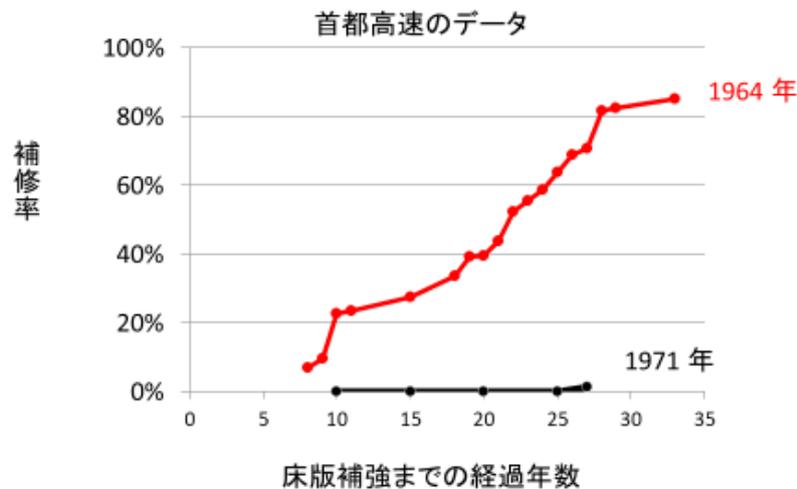
ところがこの規定に基づいて設計された道路橋の床版、特に鋼合成桁の床版の被害が続出しました。鋼床版橋の改訂委員長は鋼桁ファンの前田阪大教授でした。

その原因追及のための研究が直ちになされ、建設省局長が、1971年に設計要領を通達し、これを契機に、道路橋示方書の委員長は身内で固めることとなりました。

## 1971年制定 RC設計要領

鉄筋の許容応力度：1,400 kg/cm<sup>2</sup>以下

床版厚さ：20cm以上



1971年のRC床版に関する設計要領によって、床版損傷に歯止めがかかりました。この要領における要は、鉄筋の許容応力度を1,400 kg/cm<sup>2</sup>以下に変更したことで床版厚さを20cm以上としたことです。

石田哲也東大教授を通じていただいた「首都高速道路公団鉄筋コンクリート床版」の1964年から2008年までに打設された合計73,594件のデータを分析しました。

その結果、判明したのは、この設計要領に基づいて設計された床版は施工後27年を経過した時点で補強・補修がなされた床版はほとんどないのに反し、それ以前に設計施工された床版は、施工後数年で補強・補修が開始され、施工後30年で85%が補強・補修がなされていることです。

過積載の減少があるとはいえ、設計法によって、このようなことが起こることを、若い時期に経験したことが、以後の土木人としての人生に大きな影響を受けたことは間違いありません。

新しい材料・規定を定めるときには、保守的な規定とし、徐々に、合理的な規定にしていく姿勢を取り続けることとなりました。

## 対策：PC合成床版の活用

渡辺 明 先生 指導 富士PS



阪神高速道路に使用

現状？

建築には活用

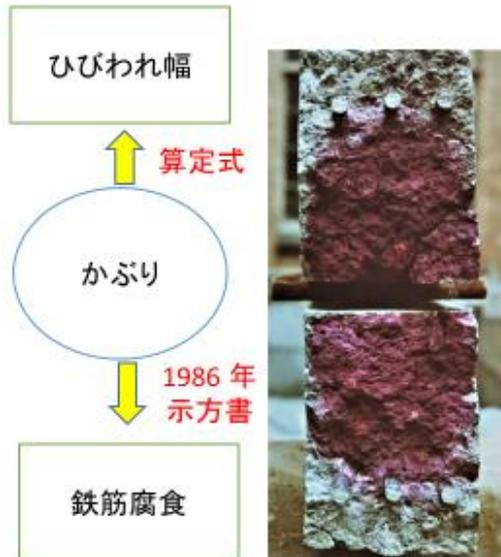
床版の迅速施工と耐久性とに有効な方法は、プレキャスト PC 版の上に現場打コンクリートを施工する方法です。この工法は、阪神高速道路公団のある課長の実行力によって、相当区間に当時実施されました。しかし、その後、この工法が採用されたことを聞いていません。そこで、前川教授に、阪神高速で実施されて床版のその後を、調査することをお願いしました。前川さんいかがでした？

阪神高速道路で管理に従事されている方々から現況を伺いました。多少のひび割れは認められるものの、補修補強の計画に入っているものは無いとのことでした。一方でこの床版に連続する多くの RC 床版には、既に補修や補強が実施されたそうです。過去に作用した交通量は同じですので、明らかにこの工法による床版は性能に優れ、健全な状態を長年にわたり維持しており、私も現地にて目視で確認しました。

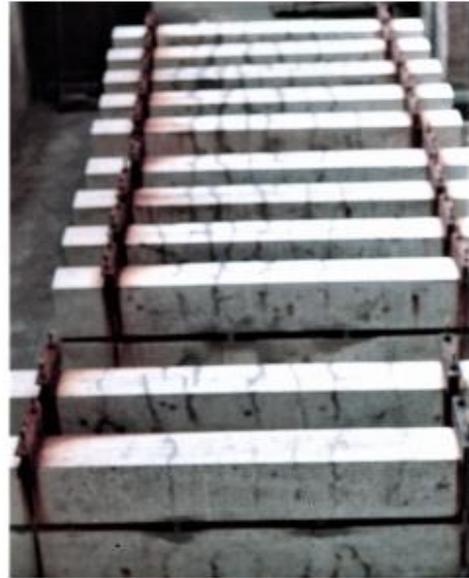
数年前に高知国道事務所長の案内によって、高速道路で実施されているのを見る機会がありました。珍しい工事だからです。渡辺明先生の指導で九州にある富士 PS は、この工法を完成させ、建築分野には多くの実績があると聞いています。この工事の施工も富士 PS でした。

# ひびわれ幅と鉄筋腐食

博士論文 1966.03



國分先生に内緒で実験



コンクリートは内部の鉄筋が腐食するのを防止する機能があります。しかし、持続荷重によって発生するひび割れの幅が過大となると、その機能が損なわれ、許容される引張応力度が制限を受けます。

世界中でひび割れ幅の算定式が提案され、それぞれの規定で、それぞれの算定式によって、ひび割れ幅の制限が行われていました。

コンクリート表面におけるひび割れの幅は、かぶりが大きくなれば大きくなることは明らかです。しかし、かぶりが大きくなれば、鉄筋腐食の防止には効果的です。ひび割れ幅と鉄筋腐食との関係は明らかになっていなかったもので、実験を計画し、國分先生にご相談しました。一年では結果が出ないので、今はやるべきではないとのことでした。

先生には内緒で実験したのが、この実験です。中庭に置いた10組の試験体(曲げひび割れを両端のPC鋼棒で拘束)に、1年間塩水を噴霧した後、鉄筋の腐食状況を観察しました。予想通り、かぶりが大きければ、表面のひび割れが大きくとも鉄筋腐食は進みません。後で考えれば、当然のことです。ひび割れの幅は鉄筋位置では小さく、外に向かって大きくなっているからです。

# Prof. Fergusonの研究方法

1

全ての博士論文を読む

Ferguson : Reinforced Concrete Fundamentals 熟読  
T.C. Powers : The Properties of Fresh Concrete (帰国後)

付着・せん断・ひびわれ幅と鉄筋腐食などを研究テーマ



テキサス大学滞在中に、ファーガソン研究室の博士論文すべてを熟読しました。おそらく、私以外には誰もやっていないと思います。私が教授の一番弟子であると自称する所以です。教授の研究の第一の特徴は、正確な実験結果に基づいて結論を出すことですが、その実験は可能な限り、単純明快な条件下で行っています。付着・せん断・ひび割れに関する研究がこの範疇に入ります。

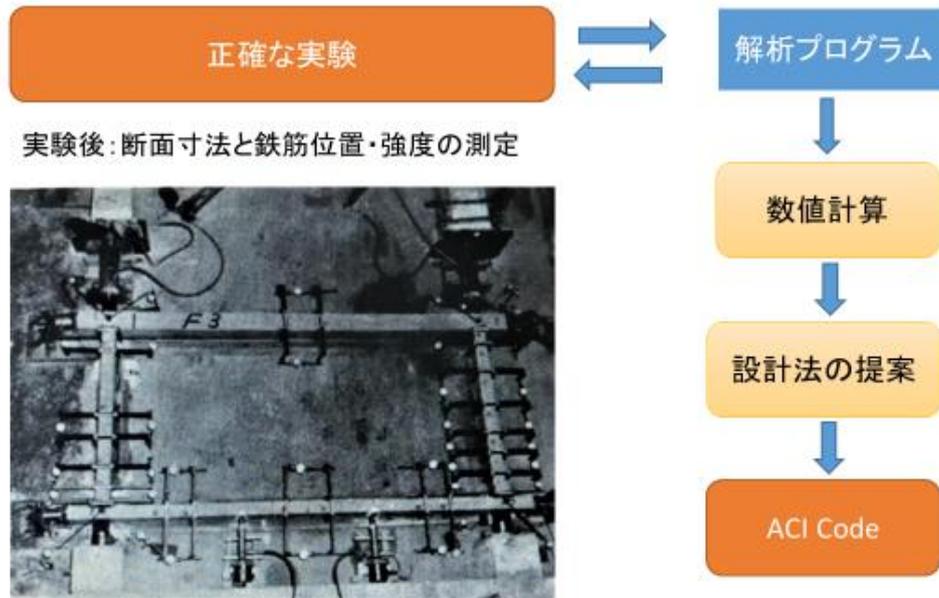
一つのテーマを10年程度継続しており、最後の2-3年間に成果が集中していました。常時3テーマが並立し、その内1つは終わりに近づいているのです。継続的に論文を公表する仕掛となっています。

夕刻から11時までは、教授の著書「Reinforced Concrete Fundamentals」を、講義ができるまで読むことを日課としました。この本は、全米の少なくとも半数の大学生が学ぶ教科書です。教授の海外出張旅費は、その印税で賄われています。

帰国後、T. C. Powers 著の「The Properties of Fresh Concrete」を学生たちと読み終わりました。2冊の良書を熟読した結果、コンクリートの構造と材料についての必要な知識が得られました。なお、セメント化学については、簡便なチェルニン著のものでお茶を濁しました。

## Dr. Breen との共同

## Computer Use in Studies of Frames with Long Columns



Prof. Ferguson には、DR. J. E. Breen という素晴らしいパートナーがいました。米国では珍しいことです。彼の博士論文は、「Computer Use in Studies of Frames with Long Columns」であり、これは最も進んだ解析プログラムでした。このプログラムは、正確な実験で検証されています。

私はこのプログラムを利用する研究に従事しました。滞在は1年の予定でしたが、この研究をするには、1年半の滞在が必要であると言われ、國分先生にその旨を告げると、直ちに賛成、その手続きをとっていただきました。

ラーメン中の長柱に関する実験には、断面が4インチ×4インチの小型供試体を用いており、断面形状や鉄筋強度の精度が良いことが不可欠です。実験が終わるとすぐに断面形状と鉄筋位置を正確に計測し、破壊した柱の鉄筋強度を、再試験していました。変形はダイヤルゲージ間の伸びの測定値から求めるという、面倒であるが、信頼できる方法を探っていました。

この実験結果は、解析プログラムの検証に広く用いられるようになったのは、当然のことです。

## テキサス大学における研究

### Elastic Frame Analysis

Corrections Necessary for design of **Short Concrete Columns** in Braces Frames

By **H.OKAMURA**, S.N.Pagay, J.Breen and P. Ferguson

ACI Journal 1970.11

弾性解析によって柱の破壊耐力を求める場合  
部材の剛性は、はりのひびわれと柱コンクリートの軟化  
の影響を考慮しなければならない。

### 両論併記

#### Semi Rational Analysis

ひびわれたはりの剛性:  $n(E_s/E_c)$  を4倍

破壊時の柱の剛性 :  $n$  を2.5倍

#### Empirical Multiplier for Eccentricity (e/t)

曲げモーメントと軸力の比(e/t) を

はりとの鉄筋比により修正



DR. Breen の作成したプログラムを用い、実験の代替としての数値計算結果を用いる研究に従事しました。鉄筋コンクリートラーメンに作用する曲げモーメントは、部材剛性の影響を受けますが、設計では、一般に弾性解析によって、モーメントの分配を決めています。

柱が破壊する場合、破壊時には柱では鉄筋が降伏しており、はりにもひび割れが生じています。私の提案は、はりの剛性はひび割れ断面の剛性を用い、コンクリートの剛性を初期剛性の4分の1とし、柱の剛性はコンクリートの剛性を2.5分の1として、弾性計算によって、モーメント分配を求める方法でした。

ファーガソン教授の提案は、従来の方法、すなわち、はりとの鉄筋比に対応して、曲げモーメントと軸力の比を修正して、柱の耐力を求める方法でした。

ファーガソン教授は、私を筆頭著者として、この二つの提案を併記した論文を公表したのです。その公正な態度に敬服しました。

## Computer Study for **Long Columns** in Frames

By P. FERGUSON, **H. OKAMURA** and S.N.Pagay , ACI Journal 1970.12

鉄筋コンクリート長柱の設計方法：**両論併記** Prof. Ferguson 委員長

(1) 耐力の低減：ACIで行われてきた方法  
Fergusonの改良案

(2) モーメントを増す方法：欧州で行われ始めた方法 Dr. Breen 委員長  
岡村の提案 >> **ACI Building Code** に採用  
コンクリートの非線形性：**ヤング係数比**を増加  $n$ を15：土木学会示方書

この問題に決着

**P.M. Ferguson and J.E. Breen**

Investigation of the long concrete columns in a frame subjected to lateral loads,  
ACI SP13, 1966.01

J.G. MacGregor, **J. E. Breen** and E. O. Pfrang

Design of Slender Columns, ACI, 1970.01

もう一つの課題は、ラーメン中の長柱の耐力を求める簡便な方法を提案することでした。この課題も、数値計算による研究です。

私は、欧州で行われ始めた「モーメント付加法」に基づいた提案を行いました。終局強度時に、コンクリートの非線形性が大きくなることを考慮し、ヤング係数比を大きくする案としました。

ここでも、教授は従来の方法の修正案を作成し、両案併記の論文としました。

なお、私の方法が前記の方法と併せて、Dr. Breenが委員長の柱委員会で承認され、ACIの規定となりました。

## Prof. Fergusonの戦略

### 全米一のコンクリート研究室を目指す

John E. Breen : Chair of 318 Committee  
 Prof. Burns : UT & University of Illinois

### ACI President

1959 Phil M. Ferguson  
 2000 James O. Jirsa from University of Illinois  
 2015 Sharon Wood from University of Illinois



James O. Jirsa



Sharon Wood

Dr. Breen とペアを組む



研究費の10%を広報

Prof. Ferguson は、テキサス大学コンクリート研究室を全米一とする夢を描き、着々と手を打っていました。当時は、土木工学ではイリノイ大学が全米一の評判をとり、青山博之教授をはじめ、多くの日本人の留学先でした。ファーガソン教授は、テキサス大学の学生であった Dr. Burns をイリノイ大学で学位を取らせ、テキサス大学に呼び戻し、プレストレストコンクリートに専念させました。

さらに、イリノイ大学で学位をとった J. O. Jirsa（丸山久一、梅原秀哲の指導教授）を招きました。彼は後に、ACIの会長になっています。そして、彼が招いた Dr. Sharon. Wood も後にACIの会長となっています。

Ferguson 教授の右腕である Dr. Breen は、研究室の学生の面倒を見ながら、ACI 318の委員長を務めました。彼は、広報に研究費の10%を使うべきであると主張していました。

テキサス大学滞在中に学んだ多くの事柄が私の大きな糧となりました。

## ACI Ferguson Lectures 1987-1997

6

R.E. Davis Lectures 1972 - 1986

1995 Jorg Schlaich

1996 Self Compacting High Performance Concrete

1997 Michael P. Collins



University of Texas

15年間続いた Davis Lectures の後を受けて、Ferguson Lectures が10年続けられました。ACI コンベンションで年1度行われていた講演シリーズは1997年が最後となりました。

1996年の講師に私が選ばれ、Self-Compacting High Performance Concrete と題する講演をニューオーリンズの会場で行いました。この講演の演者は、それ以前に講演した3名の合議で選ばれる仕組みでした。私の前年は、Prof. Schlaich であり、彼が私の選考に関わっています。私の次は、Prof. Collins で、私と Schlaich とが関わっていました。

## Prof. Ferguson の人柄

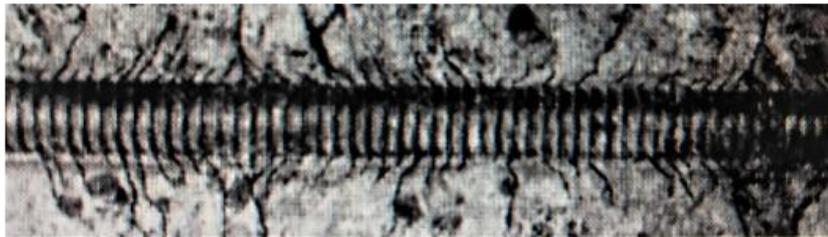
7

Cracks formed in Concrete around Deformed Tension Bars,  
By GOTO, Y., ACI Journal 1971.04



日本で開催された日米セミナーにおいて、この種の写真を見る。直ちにACI Journal への掲載の労を取り、自分の著書に引用する。

**GOTO's Crack** として有名になるきっかけを作る。



Prof. Ferguson の人柄を表す逸話を述べます。教授が日米セミナーで日本に来られた時に、後藤幸正教授の講演を聞き、その研究成果を、ぜひとも自分の教科書に引用したいと考えました。そして、ACI Journal への投稿の労をとられました。その結果、GOTO's Crack が世界的に評価されるようになります。名伯楽によって、名馬となりました。

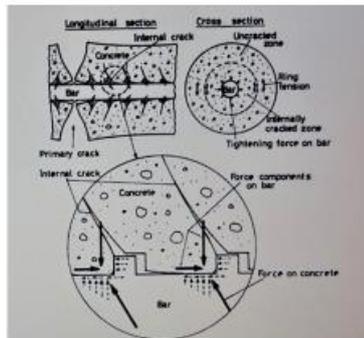
この辺の事情についての補足を前川さんお願いします。

はい。東北学院大学名誉教授の大塚先生を經由して伺ったお話があります。当時、大塚先生は東北大学で後藤先生の下で勉学する博士学生でした。後藤先生はこの研究には、あまりご興味が無かったように思われます。Ferguson 教授から送られてきた英文の草稿を、大塚先生が後藤先生の代理として加筆修正して、テキサスに送られたそうです。そして、コンクリート工学の歴史に刻まれることとなった、GOTO's CRACK が ACI Journal から出版されました。

Ferguson 教授と共に後藤先生の“ゴーストライター”の任にあたった大塚先生は、とんでもないことに気が付きます。この後藤先生の単著論文の謝辞に、なんと Ferguson 教授のお名前がないのです。公明公正な Ferguson 教授がご自身の名前を論文草稿に記載される筈もなく・・・大塚先生は後藤先生になり代わり、伯楽たる Ferguson 教授のお名前を書くことのできる唯一の人でした。“一生涯の不覚”、といまでも大塚先生は悔やんでおられます。

世界中で出版されるコンクリート工学の教科書で、この図が掲載されていないものは無い、といっても良いでしょう。それほどのインパクトを学術界にもたらしました。

欧米の複数の大学で、学部の講義を何度か聴講させていただいたことがあります。カナダのある教授は、「これは go to crackではなく、日本の GOTO 教授の名前である」と学生さんに説明され、教室が和やかな笑いに包まれたことが思い出されました。いまでも日本の大学人として、誇らしい気持ちにさせていただいています。



## GOTO's Crack

8

実験は大塚浩司教授

異形鉄筋の付着力発現を可視化  
コンクリートに発生する引張力は  
微小ひびわれの角度による

