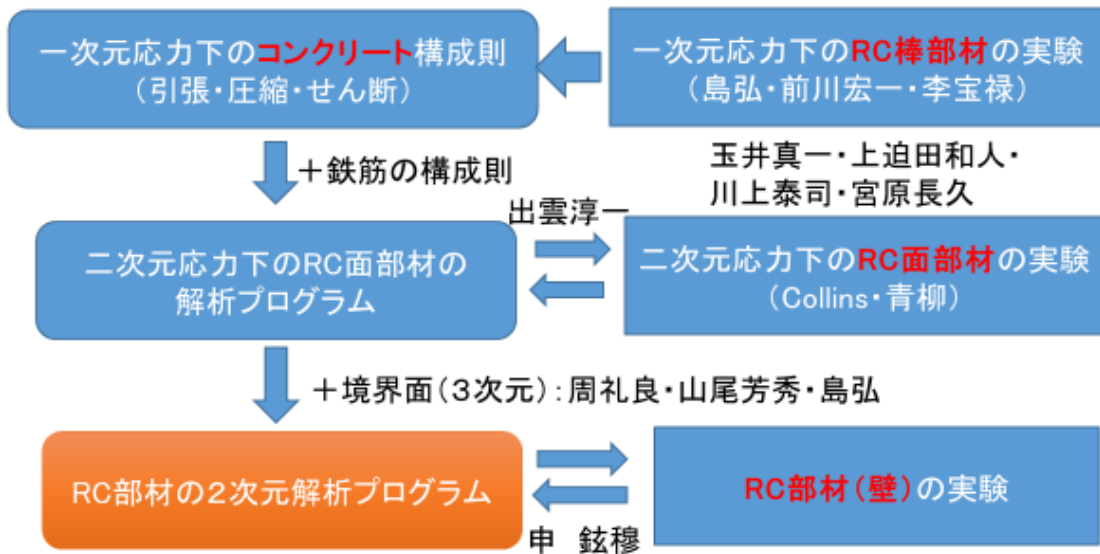


コンクリートと人 Part4

鉄筋コンクリートの構成則(載荷・除荷・再載荷)

特定研究「複合材料(國分正胤代表)」

: FEM解析プログラム「COMPOSITE」・「FEMN」(山田嘉昭)
梅原秀哲・野村卓史(山崎淳)・二羽淳一郎・前川宏一・石川浩・井上晋一



コンクリート構造の設計に各種の実験式が用いられていたことを、私はこの分野の学問が遅れていると感じ、鉄筋コンクリートを統一的に記述できる方策を夢見ていました。國分先生代表の特定研究「複合材料」がスタートしたのは、前川さんがコンクリート研究室に入ってきた頃でした。この研究の一つとして、そのころはやり始めた有限要素活用分野で我が国の第一人者「山田嘉昭」先生を長として、全ての材料に共通に使える FEM 解析プログラム「COMPOSITE」ができました。

このプログラムを利用して、梅原秀哲さんが付着の研究をしようとしたのですが、東大大型計算機の容量不足のため、実行不可能でした。

研究室の総力をこの研究に注ぐことにし、多くの卒業論文、修士論文、博士論文が生まれ、最終的には RC 部材の2次元解析プログラムが完成しました。

前川さんにコメントを

はい。コンクリートとひび割れに関する構成則の研究と、それを搭載した非線形解析プログラムの開発の両方が必要となります。1960 年末に山田先生は世界で初めて弾塑性理論をマトリックス形式で記述することに成功します。以後、非線形解析が大きく発展することとなりました。また、山田先生が主査を務められた数値解析の

研究会に参加させていただきました。参加者はこの分野の第一人者が企業から集われ、そこで質問すれば、かならず何か答えてくれました。これ以上もない恵まれた環境を与えていただいたのです。ひび割れを有するコンクリートの非線形解析は、解を得るのに格段に困難なものでした。プログラムは理由も分からず勝手に止まる……。今では叩いても放り投げても、計算は止まらなくなりました。

構成則を追求するのにあたり、岡村先生から極めて重要な方法論を頂きました。四の五の言わず、これ以上簡単にしようもないレベルでモデルを(たとえ実験結果が無くても、想像して)組み、それらを組み合わせ、まずはボロボロでもいいから構造応答が計算できるようにする。その後で、個々のモデルの精度や適用範囲を詰めていく方法です。全体を包含した上で局所を詰め、その結果として全体像も組みなおされ、さらに局所が強化される、といったサイクルです。Think globally, act locallyであり、今でいうアブダクション(帰納と演繹の統合)です。

数日にわたって、パソコンの横に座らせて頂き、先生があれこれ入力を変えては出力を見て、また条件を変えては応答をみる・・・を繰り返していくうちに、だんだん見えてくるのでした。今でも私は無意識のうちに当然のごとく、このロジックに生きていと実感させられます。

1984 年



小林 一輔 教授

不適切なセメント・砂・砂利

施工不良に対する警告

1984年、コンクリート構造物の耐久性に疑問を呈した「小林一輔」東大生研教授の研究を中心とした「NHK 特集コンクリート・クライシス」が世間をにぎわせました。アルカリ量の多いセメントによる「アルカリ骨材反応」、海砂の使用による「鉄筋腐食」、施工不良に起因する各種の不良構造物などを問題視したのです。

多くの研究者がその対策についての研究を開始しましたが、私は異なる方法を提唱しました。締固め不要コンクリートの開発が施工不良を防ぐ、唯一の方法であると考えたからです。

前川さんにコメントを

自己充填コンクリートの開発にあたり、先生から頂いた言葉で忘れられないものが二つあります。前川には「自己充填コンクリートの開発は、これまでの研究成果を犠牲にしても実行する価値があるので、(これまでの研究はここで一旦止めて)全力で取り組んでほしい。」 小澤さんには、「自己充填コンクリートができれば、学位を出しましょう(できなかつたら……)」。極めて明確な行動指針でした。

1987年 琉球大学:特別講義



具志 幸生
(1987博士)

1987年、琉球大学「具志幸生」先生の招聘によって、1週間にわたる特別講義「限界状態設計法」を実施しました。

先生は、沖縄最北端の岬にまで私を連れて行き、ここから本土を眺めて早期復帰を願っていたと話されました。当時の沖縄には、米国占領の雰囲気濃厚に残っていました。

鉄筋周辺の塩分濃度が高い



1972年本土復帰

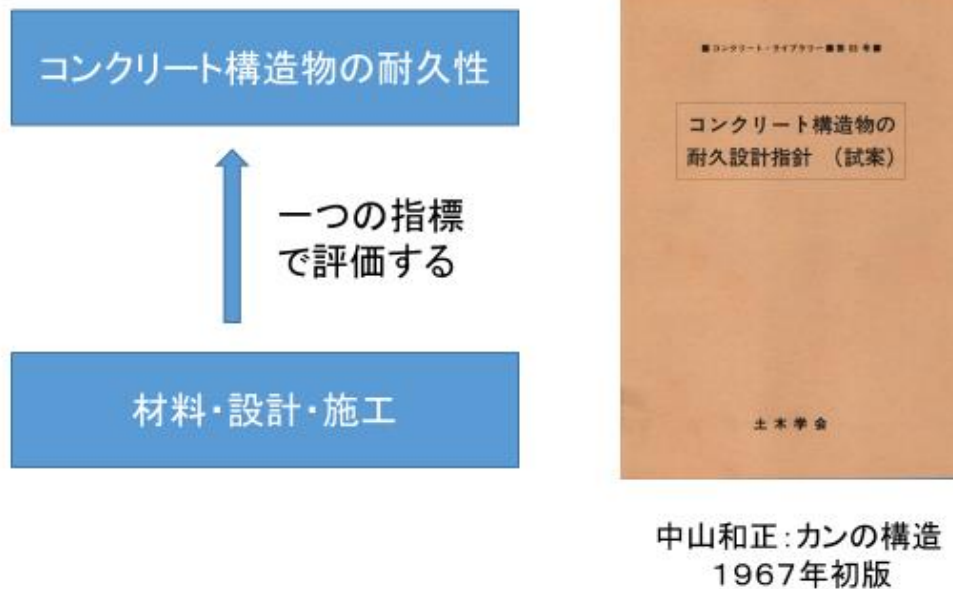


沖縄では海水・海砂を使用している上に、台風による塩分飛来があり、コンクリート中の鉄筋腐食が問題となっていました。具志先生が「鉄筋位置周辺の塩分濃度が最も高い」と言われたことが印象に残りました。私にはその理由が分からなかったのです。東京に帰ってきて、前川さんに話すと、その理由を明快に説明してくれ、納得しました。

前川さんにコメントを

はい。たまたまですが、先生から頂いた別の課題(マスコン)の関係で、物質移動に関する数値解析のベースプログラムを組んでいた時に、このお話を伺いました。乾燥して水分が蒸発したり、水が降りかかると水はコンクリートの中を移動します。塩化物イオンも一緒に影響を受けて移動します。しかし、水分は水蒸気によって拡散が可能ですが、塩化物イオンは液状水の中にしか存在できません。乾湿によってイオンの濃縮が起こることを、たまたまプログラムを開発しているときに経験していたという背景がありました。

1988年:土木学会 「コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)」



コンクリート構造物の耐久性には、材料・施工のみならず、設計詳細および関係する技術者の質が影響すると考えていました。そして、これらの影響を同一の土俵で評価する必要性を感じ、「コンクリート構造の耐久性設計(試案)」でそれを表現しようとした。材料の良否を施工の良否に変換するのを、科学的に行うのは相当に困難です。思考に裏付けられた「カン」による方法を探りました。どなたか、現在の方法で、これを検証してくれませんか？

前川さんにコメントを

はい。現実を直視した施工品質の定量化は、いまでいうリスク評価と管理に繋がるものかと思います。この試案を取りまとめるにあたって、岡村先生と、委員会で知恵を出された委員各位の力量を反映したものと言えます。この内容について大学の講義で紹介し、この試案の概要を問う問題を期末試験で出しました。大多数の学生は試案の技術的な中身を答えましたが、大内さん(現高知工科大学教授)だけ、この試案に携わった10名以上の技術者の名前、年齢、所属、経歴、出身地(!)までを事細かに書き連ねました。この答えは試案の本質—数量化できないものも評価する—を突くものとして大いに感じ入り、おもわず優をつけました。当人、他の問題はさほど解けていなかったと思ったようで、「優の成績をもらっていいんですか？」と後日

言われたので、「なにか文句ある？」と返したところ、ニコニコしながら「大変結構でございます」と引き下がり、その後、コンクリート研究室で勉強することになりました。

大学人の行うべきことは、教育と研究に尽きます。研究評価は行われていますが、教育評価は行われません。私は博士課程への進学を希望する学生の資質として、研究よりもむしろ教育を重視しました。

高知工科大学学長就任時、最初に行ったことは教員評価システムの作成です。教育と研究の成果を数値化し、それを教員に示しました。研究成果の評価はそれほど難くはないのですが、それを数値化することは、必ずしも容易ではありません。まして、教育成果の数値化は、不可能とされています。基本的には、材料・施工と設計の影響を同一の土俵で評価したのと同じ方法を採用しました。

教授会の承認を受け、後に教員年俸の増減に反映するまでに至りました。その時点では、この給与体系を希望しない教員を許容しました。新規教員と昇級教員には強制しましたので、時間が経てば、すべての教員が参加することになります。

これを、高知工科大学のホームページで公開しました。主観的に物事を決めることは、マネジメントに携わる人間の基本ですが、それを公開することで、公正さが担保できます。東京大学工学部長として、教員採用調書や博士論文審査要旨を公開したのも同じ理由です。

高知工科大学の理事長に就任した時最初に行ったのは、職員(教員を除く)給与システムの抜本の変更です。職員が安心して、仕事に打ち込んでくれることを願うことです。教職員の給与総額が全支出の50%を越えない範囲で行うことを前提として、理事会の承認を受けました。

教職員に意見聴取を続け、公にされている本を可能な限り調べました。一つの良書に巡り合いました。楠田 丘氏の著書です。戦後日本の人事・賃金制度史に関するものでした。知人の経営者を訪ね、実情の聞き取りも行いました。この人事制度の基本を以下に記します。

- (1) 生活給と職能給との2本立てとする。
- (2) 生活給は、年齢に応じて自動的(高知県人の年間支出額を参考)に決まる。子供手当(一人年額50万年、国からの支給があれば、それを差し引く)を設け、それ以外の手当は廃止する。
- (3) 職能給は、職級(10段階程度)ごとに一定とする。米国土木学会の制度と教員の職級制度(助手から教授まで)を参考としました。昇級は理事長を長とする人事委員会が決めるが、下位の職級は事務局長の報告でよい。
- (4) その時点に勤務している非常勤職員は、希望者全員を準職員(最下級の正規職員)に移行する。その給与は生活給のみとする。

1988 年夏

High Performance Concrete

命名者 瓜生敏之

小澤一雅・前川宏一



國島正彦

スランプ12cm

観察

バイブレーターは
モルタルを流動化
粗骨材を動かすには
突き棒が不可欠

コンクリート構造物の耐久性向上に不可欠なコンクリートが完成しました。1988年のことです。これは小澤一雅さんの博士論文となりました。

國島さんが東大に帰っており、彼の発想で公開実験を、東大構内で行い、大勢の技術者・研究者に、同時に見ていただきました。

バイブレーターを使って、通常のコンクリートを締め固めている様子を観察するのは私にとって初めてのことでした。バイブレーターの振動では、粗骨材を動かさず、モルタルを流動化しているだけであることが観察できました。コンクリートはバイブレーターによって十分に締め固めるのが良いコンクリートを造る方法であると教えられていました。

前川さんにコメントを

材料分離する様子が透明なアクリル製型枠を通して見えたことは、何よりも説得力がありました。材料分離が激しいと水が型枠に沿って走ります。硬化後に型枠を外すと、なんと気泡も見えず、白く綺麗に見えるのですから、罪作りの話だと思いました。しかし、突き棒で丹念に突き固めれば、骨材が動くことで分離も起こさず、型枠の隅までコンクリートが行き渡ることも分かりました。

瓜生 敏之

高性能減水剤の開発



東大生研教授

東大工学部教員ゴルフ会

高知工科大学副学長

スコットランドの名門ゴルフ場にて

同期の瓜生敏之生研教授は、化学の専門家として、締固め不要コンクリートの開発に協力してくれ、高性能減水剤の開発に成功しました。彼はネーミングが重要であると主張し、このコンクリートを「High Performance Concrete」と命名することになりました。

瓜生さんとは東大工学部教員のゴルフ会で知り合い、一生の友となりました。セントアンドリュースのオールドコースをはじめとして、スコットランドの有名ゴルフ場を7名の勇士で回ることは、彼の発案でした。2010年9月のことです。ゴルフ場の予約は彼が宿の予約は私が担当しました。エジンバラのホテルに集合し、連日ゴルフを堪能し、ゴルフのないのは最後の日だけでした。高瀬夫妻もちろん一緒でした。



SSC に名称変更 Self Compacting Concrete



「High Performance Concrete」の開発とほぼ同時期に、P. C. Aitcin が同じネーミングのコンクリートを発表しました。中身は高強度コンクリートでしたが、この名前の魅力で多くの研究者の興味を惹きました。日本の研究者の中には、我々のコンクリートはその二番煎じであると酷評した人もいました。残念なことです、混同を避けるために、名前を変えることにしました。今では、SCC と呼ぶのが一般的となりました。

はい。名前や名称、呼称のインパクトはことのほか強いものと思われました。IPS 細胞の作製に成功された山中博士も同様のことを雑誌に書いておられました(山中先生も名前の付け方で苦い経験をお持ちだそうです)。正直、不愉快なことも、周りで色々とみられました。

しかし、科学と技術の歴史はまだ公平さを保っており、締固め不要のコンクリートの開発が岡村先生であることが世界の共通認識になっていることに、安堵しています。デルフト工科大学の WALRAVEN 教授(初代の FIB 会長)は、自己充填コンクリートをオランダに導入する際には、一切の修正を施さないで岡村先生の材料設計法をそのまま導入し、名称も SCC の略称を用いず、SELF COMPACTING CONCRETE と今でも引用されます。学術の世界にも仁義あり。

High Performance Concrete



ハイパフォーマンスコンクリートに関する国際会議が数多く開催されました。その多くに、Aitcin 教授と共に招待されました。

High Performance Concrete と吉田徳次郎先生の関係

新しいコンクリートに於ける材料の分離に就いて: 1932年

最高強度コンクリートの製造に就いて: 1940年度土木学会賞

HPCとの配合と基本的に一致している。
高性能減水剤の有無

突き固めと振動との併用+加圧養生によって余剰の水分を排出
水セメント比を小さくするだけでなく、セメント量の多い配合としている。
その結果、骨材の周りにセメントペーストが常に存在し、
加圧時に骨材の噛み合わせが少なく、セメントペーストに圧力がかかる。

新旧コンクリートの接合に就いて: 1923年

再び新旧コンクリートの接合に就いて: 1930年

新旧コンクリートの打継目に関する研究: 國分正胤先生の学位論文

吉田徳次郎先生の「最高強度コンクリートの製造に就いて」を読んでいるときに、SCCの配合と基本的に同じことに初めて気づき、驚きました。そのことを前川さんに話すと、この時も当然ですとその理由を説明してくれました。

いつものことですが、私は全く気が付きませんでした。先生から初めてお話を伺った時には「…そうかもしれません…ん～」とお答えしたような気がします……。自己充填コンクリートは流動中に分離を起こさせないことが肝です。そのため、流動中に粗骨材同志の接触や衝突をぎりぎり回避するような配合とし、粗骨材の間にある砂粒子も同様に配合します。その結果、コンクリートに作用する力は殆どセメントペースト相に届きます。これで材料分離を回避します。吉田先生の最高強度コンクリートも同様でした。脱水するにはセメントペーストに力を届けなければなりません。ですので、コンセプトは同じでした。違いといえば、高性能減水剤の存在です。歴史にイフを持ち込むのは問題かもしれませんが、もし減水剤が80年前に存在していたのであれば、自己充填コンクリートは吉田先生によって開発されていたのでは、と思ってしまう。事実、当時とほぼ同じ素材を用いて最高強度コンクリートの配合に高性能減水剤だけを追加して製造すると、自己充填コンクリートが見事にできたのです。これは岡村先生が土木学会総会特別講演会で発表されました。“”とうだいもとくらし“？ 研究100年の歴史の重みと深みです。

私が学位論文を書く際に参考としたのは、國分先生の学位論文でした。新旧コンクリートの打継目に関する研究です。不要なところは何もなく、不足することも全くないのがこの論文でした。調べてみると、吉田徳次郎先生自身、この問題について2編の論文を発表していました。

研究生13名への技術移転

小澤グループの結成(就職10年程度)

坂田・牧野・千秋・宇野・石田・若松・大橋・樋口・西田・横田・伊藤・加藤・福留

研究資金の獲得

下村 匠(修士学生)



ハイパフォーマンスが完成した後、このコンクリートを一刻も早く普及しようと考え、本を作成し、講演等を数多く行いました。

建設会社への技術移転もその一環でした。各社に声をかけたところ、二つ返事で、研究費持参で、優秀な人材を派遣してくれました。私は、入社10年程度で、かつ東大卒業生でないことを条件としました。

流石に各社の選り抜きです。仕事は速く、正確で、とても学生たちはかないません。彼らにあることを成し遂げる提案をしたところ、それは実現困難です。少なくとも1年ではできませんとの反応でした。

できるかできないかにかかわらず、学生たちは取り掛かってくれていましたので、戸惑いました。 SCC の実現を小澤さんに頼んだ時も、何の迷いもなく引き受けてくれました。

修士の院生だった下村さんが「やってみましょう」と言ってくれ、スタートしましたが、やはり一年ではできませんでした。 私のやろうとすることは、いつも予想以上に時間がかかることが良く分かりました。

SCCへの期待

施工システムの改革と締固めの併用



田中 健次郎

このコンクリートは私の期待に反して普及しません。 良いコンクリート構造物の切り札となる技術ですので、その普及は日本の社会インフラの充実に役立つと信じています。

施工システムの合理化が最近の合言葉となっています。 このコンクリートの活用によってのみそれが実現します。 熊谷組の田中健次郎氏がかかわった「明石大橋のアンカレッジ」はこのコンクリートの本格活用によって、工期を半年短縮できました。

前川さんにコメントを

はい。 明石海峡大橋のアンカレッジの施工記録で思い出されるのが、所長さんの所感です。 現場所長にとって一番、気苦労と緊張を強いられるのがコンクリートの打

設の日。多くの作業員が現場で従事している周りで、多くの重機が動いているからですが、この現場ではコンクリート打設の日が一番、安心してることができたそうです。そもそも現場に人が居なければ、人身事故は起こらないからです。高齢化と就業人口の減少時代をむかえ、施工の安全と合理化、省人化、生産性向上が喫緊の課題となってきました。自己充填コンクリートを迎える時代が、漸く来たように思う次第です。しかし、過去の夢の中に未だに留まるセクター、未来の姿を共有できない小社会。課題は社会システムのイノベーションにかかっています。

北村 八郎

1990年 PCLNG地上式貯槽指針素案(柴田碧 委員長)



漏洩に関する確証実験

前川宏一、岡村 甫、浅井邦茂、長谷川 宏、鎌田文男

低温液化ガス用コンクリート部材の貯液性能に関する研究 1990.9

大阪ガスと大林組が取り組んでいた「PCLNG 地上タンク」のプロジェクトに参加することになり、貯槽からの漏洩実証実験の説明を聞きました。しかし、その実験が実証実験となっていることが理解できませんでした。その後、この問題に取組み、前川さんの助けを借りて、真の確証実験に成功しました。

マイナス 160 度以下の液体がひび割れに沿って漏洩すれば、大事故につながります。タンクローリー車1台、まるごと使ったの漏洩実験が行われました。水であれば圧力の作用で漏れ出てくる程のひび割れ幅。しかし、極低温の液体は出てきません。そのかわり、涼しい風が吹いてきます。ひび割れの隙間を LNG が液体で流れるうちに気化したためです。気化すると体積は数百倍に膨らみ、液体の流速の数百倍の速度で気体はひび割れの中を走ります。気体になると粘性は落ちるのですが、それ以上に流れが速いので(気化したメタンガスの動粘性係数は大きい)、大きな圧力になります。これが極低温の液体を押し戻してくれました。コンクリートの熱解析と流体解析と相変化と物性の混合問題を解いたところ、ひび割れが起きても、条件が揃えば安定して液体流出を止められることを示しました。コンクリートはすごいものだと思います。これが後の DuCOM 開発のヒントを与えてくれました。

1990年柴田碧委員長の下で指針素案が作成できました。コンクリートを私が金属を秋山宏教授が担当し、柴田委員長は総括と安全性を担当しました。楽しい委員会でした。

北村八郎氏の博士論文は、PCLNG 地上タンク開発の歴史の詳細を要領よくまとめたもので、関連する技術者のバイブルとなりました。

高瀬 三郎（1988 博士）

東電東扇島LNG地下貯槽の現場所長

壁: 逆打ちコンクリート(アルミニウム粉末を使用)

底版: 分岐管を用いたコンクリートの圧送工法による連続施工

打設効率, コールドジョイントの発生, 労務効率等が改善された。



横浜ランドマークタワー



ハワイ・沖縄・北海道・軽井沢・スコットランド

高瀬三郎氏には東電東扇島の地下 LNG タンク現場で初めてお会いした時驚きを禁じえませんでした。新しい技術をいくつか同時に試みていたのです。そのひとつを博士論文とすることを勧め、論文博士となりました。

友澤先生が相談に乗っていた「横浜ランドマークタワー」の底版施工への高瀬博士の分岐管工法使用を勧めました。大成建設の建築の方々は、この工法を知らなかったのですが、これを採用して、昼夜連続の底版施工に成功しました。

高瀬夫妻とは、ハワイ、沖縄、北海道、軽井沢、そしてスコットランドと各地でゴルフを楽しみました。

勝利投手となった試合

赤:投じた回

青:リードした回

2年	3年	4年
東大001 000 100 03 5	慶大200 000 000 2	立大000 000 000 0
早大001 001 000 00 2	東大000 220 00X 4	東大000 021 00X 3
明大104 000 200 7	明大010 011 000 3	東大101 100 000 3
東大002 100 43X 10	東大000 014 00X 5	立大100 100 000 2
東大000 000 121 4		早大000 000 000 0
明大020 000 010 3		東大000 000 000 1x 1
慶大010 000 000 1	立大000 000 010 1	
東大301 000 00X 4	東大110 000 00X 2	
東大000 001 020 1 4	東大001 000 001 2	東大003 000 010 4
明大000 100 011 0 3	明大000 000 001 1	明大200 000 001 3
早大000 100 002 3		明大000 000 000 0
東大013 200 00X 6		東大000 010 00X 1
法大010 000 000 1		東大102 000 020 5
東大000 100 20X 3		立大010 000 100 2

最後に、東大野球部で私が勝利投手となった試合の得点経過の一覧をお示しします。赤字は私が投げたインニング、青字は東大がリードしているインニングを表しています。皆さんはこれを見て、どう思われますか？

楽勝は2年の秋2試合、4年の春1試合、秋1試合の合計4試合もあるのです。残りの13勝は接戦を勝ち切ったものです。

完投勝利は秋のシーズンは、2年4、3年2、4年1と7試合ありますが、春のシーズンは3試合しかありません。

リリーフで勝った6試合の内5試合が春のシーズンでした。試合の最後にベンチでいたのは1試合、それも一人の打者だけでした。この試合はノーヒットノーランを9回2アウトから逃した試合です。