

我が半世紀

My History in Last Half a Century

田中 仁史

Hitoshi TANAKA

Synopsis

This paper describes my life over 40 years after entry into Kyoto University. In the postgraduate course, my major field of study was about reinforced concrete structures. My career as teaching staff and a researcher started at National Institute of Technology, Akashi College in 1979. Then, I studied at University of Canterbury, New Zealand, as research associate from 1984 to 1987. I become a lecturer at University of Canterbury from 1990. In 1993, I was promoted to senior lecture and conferred tenure title. I came back to Japan in 1995 and joined Toyohashi University of Technology as associate professor. Then I moved to Kyoto University as Professor in 2001. The main part of this paper covers my contributions to research works on seismic design of reinforced concrete structures and laminated timber structures. Also contribution to the study about damages of buildings due to Tsunami were described

キーワード: 耐震設計, 鉄筋コンクリート構造, 集成材, 津波

Keywords: seismic design, reinforced concrete structures, laminated timber structures, prestressed timber slab, tsunami

1. はじめに

大学進学の際には、学科を選択する必要があるが、私が建築学科を選んだ理由は、世界的に有名な建築家丹下健三の影響である。私は、愛媛県西条市出身であるが、彼は今治市出身の出身で、子供の頃から尊敬の念を植えつけられていた。

京都大学に入ってから、京大出身の建築家黒川紀章の自己評価「全身これ建築家」に畏怖の念をいただいた。また同じく京大出身の数学者岡潔が文化勲章を受けたとき、記者から「先生にとって、数学とは何ですか？」と聞かれて「数学とは生命の燃焼である」と答えたと言う話には感銘の域を超え体に震えが走った。わたしは、青春、赤夏、白秋を過ぎついに玄冬に入っても結局その境地には到達しなかったが、それなりに満足のいく人生が幸せおくれたと思う今日この頃である。

下宿は大原寺町で三千院の近くであった。夏は

天井から蛇が落ちてくるし、冬は小鹿が迷い込んできて、どう逃がしたらよいかわからず、近所の叔母さんと呼んでくると結局はもみじ鍋にされるという結果となった (Photo 1)。



Photo 1 The first flat lived in Kyoto, located in Ohhara near Sanzenin Temple

大学4年では上田篤研（建築意匠，都市計画）に入ったが，挫折，翌年コンクリート構造の六車熙研に移った。

2. 明石高専時代

博士課程終了後，1979年に明石工業高等専門学校に講師として赴任した。研究費に関しては，科研（若手研究者奨励賞），斎藤記念プレスとレスト技術研究奨励賞などをいただき不足は無かったが，実験設備が貧困であるのが難点だった。しかし，これも事務部長が文部省から5000万（今の一億ほどか？）を彼の退官ご祝儀で取って来てくれ解消した。「田中君，年末，文部省の廊下歩いたら5000万ぐらい落ちとるんや」という良き時代でもあった。

余談になるが，仲の良かった数学のK先生（数学者秋山仁グループに所属）ある日突然，「6174の不思議」を証明できますか？」と聞かれた。「私は工学者ですから，プログラム書くのに20分，計算に20分，合計40分もあれば」と答えた。当時のパソコンは64kbの時代で，実際には，計算時間が予想よりも長く計一時間ほどかかったかもしれない。要は，全数チェックをしたのだ。コンピューターは，疲れが無いから勝手に計算をやらしておけばいいのだ。

6174は，数学者のカプリカという人が発見した数のことで，カプリカ数(1949年)と呼ばれる。4けたの自然数は，一桁ずつに分解，それからできる最大数から最小数をひくという操作をすると必ず6174になるというものである。

（ただし，例外があり，1111のように4つの数値が同じものは対象外です。）

（例）1234の場合

$$321 - 1234 = 3087$$

$$730 - 0378 = 8352$$

$$532 - 2358 = 6174$$

$$641 - 1467 = 6174$$

そこで彼は，この5桁，6桁問題解いてもらえませんか？と頼んできた。基本プログラムは同じなので数日で答えを出した。5桁，6桁では，収束する数が複数個あり私はそれをcoreと名づけた。

数学者は美しい証明を求めるが，工学者は，速さが優先で手段を選ばない。彼らは，美しい証明を試みるのであるが，答えを知っておくと安心と考えるのは当然であろう。

後日談になるのだが，京大に帰ってすぐ秋山仁とある講演会で一緒になった。そこで彼がテレビラジオでカプリカ数の5桁，6桁問題を話しているのを

思い出した。あれ解いたの私ですよと嫌味を言うと，後日，ラジオでこの問題解いたのは京大建築の先生ですと言っていた。

一部の高校の教科書にのっているというので我が人生の最大の功績かもしれない。

これは，コンピューター，特にパソコンの出現により誰もがいつでもどこでも学者に太刀打ちできる仕事ができるようになったことを示している。

もう一例をあげる。大学に入ってから一つの夢は π の計算をすることであった。古典的には，級数展開的に解く手法がとられてきたが，コンピューターの出現で擬似乱数を使ったモンテカルロ法が可能となった。

原理は極めて簡単で，擬似乱数を発生させ正方形の中にその値に該当する点をプロットしていき，全点数に対する円の内側に落ちる点の比率から求めればよいのである。ただし，問題は擬似乱数の規則性と再現周期なのである。規則性があつたり周期性の短いものであれば何億回計算しても意味がない。

当時のパソコンでは，ベーシック言語が使われ乱数を呼び出すコマンドはルンド（randomから来ている？）であったが，どういう擬似乱数が作られているか，再現周期も判らなかつた。しかし，パソコン画面上の点が直線状に並び明らかな規則性が現れ，精度の悪さが明らかであった。

古典的擬似乱数の生成法一つは，混合合同法（mixed congruential method）である（以下の擬似乱数に関する情報は，Wikipediaなどで見ることができる）。下の式に適当な a , p , q を代入する（必要な桁数が採れば何でも良い）。求まった a' の中間あたりの必要な桁数を乱数として採用し，それを新たな a として，再び下の式に代入する。

$$ap + q = a'$$

（例）5桁の擬似乱数を作ってみる。ただし，最初は $a = 14992$ ， $p = 673$ ， $q = 944$ とし，求まった a' の，十の位から十万の位までを採用することとする。

$$14992 \times 673 + 944 = 10090560 \rightarrow 09056$$

$$09056 \times 673 + 944 = 06095632 \rightarrow 09563$$

$$09563 \times 673 + 944 = 06436843 \rightarrow 43684$$

最近の擬似乱数では，新しい擬似乱数生成アルゴリズムが使われている。一例を挙げると漸化式の暗号論的擬似乱数。その内容については私の理解を超えているが，再現周期10億回を超えるものとなっている。Fig. 1は，モンテカルロ法による π の計算過程を示したものである。

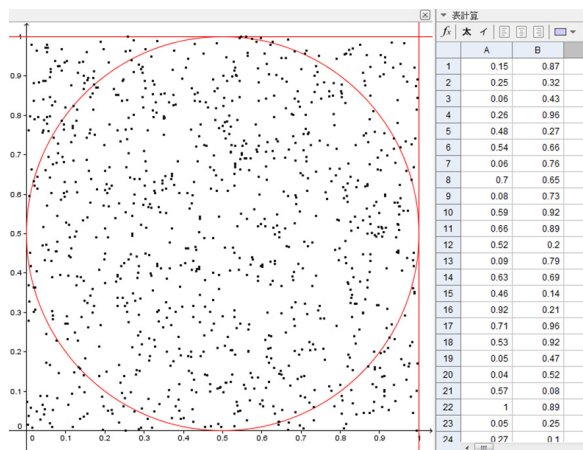
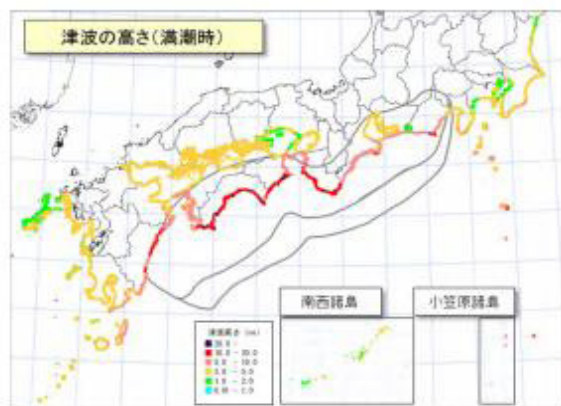


Fig. 1 A calculation for π by Monte Carlo method



【ケース①「駿河湾～紀伊半島沖」に大すべり域を設定】

図4 津波高分布図(ケース1)



【ケース③「紀伊半島沖～四国沖」に大すべり域を設定】

図5 津波高分布図(ケース3)

Fig. 2 A paper about Tsunami analysis conducted by Shingo Suzuki, DPRI, 2004.

この 35 年近く前の私にとって単なる趣味的遊びのモンテカルロ法が、私の最後の研究テーマと結びつくとは全く想像していなかった。現在、モンテカ

ルロ法は、地震災害被害予測、津波災害被害分布の予測、火災における延焼分布予測手法などとして実務に反映されている。Fig. 2 鈴木進吾氏(2015 年当時防災研助教)による津波災害予測の研究成果を示したものである。

3. カンタベリー大学時代に学んだこと

1980 年代, Tom Paulay 先生が中心になって発案, 提唱されたキャパシティデザイン耐震設計法は, 米国, 日本など世界中の耐震設計の基礎・根幹となった。具体例をあげると, 日本建築学会「鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針」1988 で採用されている。この手法の基礎概念は, Fig.3 に示すようにヨーロッパの古いことわざ, 「チェーンの引っ張り強さは, その最も弱い輪(リンク)で決まる」に起因している。

すなわち, 鎖の引張強度は, 構成する環(リンク)の内最も弱い物の強度で決まる(T. Paulay ら, 1992)。

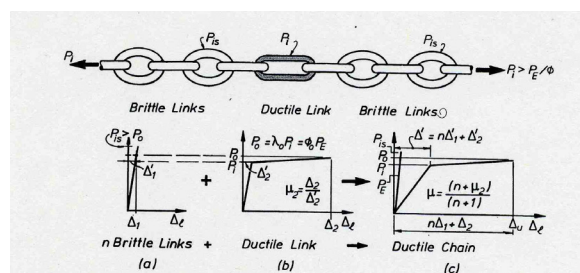


Fig. 3 The Basic Concept of Capacity Design, New Zealand

これを建物の耐震設計に応用すると, 建物を構成する最も弱い部分でその建物の耐力が決まることになる (Fig. 4 参照)。

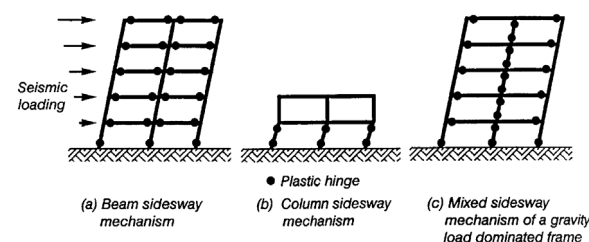


Fig. 4 The capacity design method

フレーム(ラーメン)構造では, 地震エネルギー吸収能力の観点からは Fig. 4 (a) の降伏機構が望ましい。ただし, 大地震後の補修にコストがかかる。Fig. 4 (b)のように二層程度の建物であれば柱軸力が小さく層降伏型の設計も可能。Fig. 4 (c) はスパンが

長い或いは積載荷重が大きく梁の両端を降伏させると、梁中央たわみが大きくなり過ぎる場合の対処方法である。

従来の設計では、設計外力に対して、どの部材、どの局所も特定の安全率で設計したため実際の安全率分布は不明で、最終的な破壊がどの部材、どの局所でおこなのか特定できないものであった。このことは、建物全体としての終局強度（保有水平耐力）は、評価不能というのが実態であった。余談になるが、世界の免震構造で最も多用されている鉛プラグ入り積層ゴムは、ニュージーランドの特許であった（現在は米国に転売）。因みに Fig. 5 に示すウエリントンのウイリアム・クレイトンビル世界初の実施物件となった（Park ら，1975）。

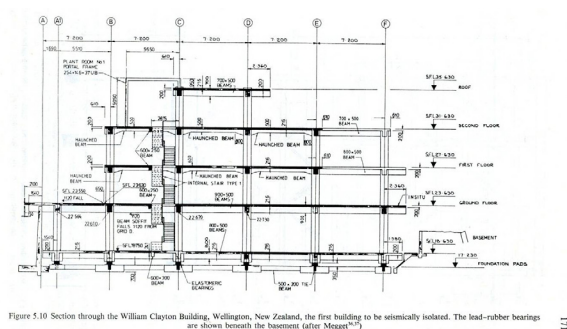


Figure 5.10 Section through the William Clayton Building, Wellington, New Zealand, the first building to be seismically isolated. The lead-rubber bearings are shown beneath the basement (after Megget⁽¹⁷⁾)

Fig. 5 The first base isolated building in the world

ISO19338 の性能評価型設計法では、新概念 Robustness（強靱性）と Redundancy（冗長性）が採用されたキャパシティーデザインは、それへの適応も容易ならしめるものであった。

4. あべのハルカス

高さ 60m を超える建物については、建築基準法により国土交通大臣の認定が必要となる。そのためには、国土交通省が認可した認定機関での評価が必要となる。あべのハルカスの評価は、日本建築総合試験所でなされた。あべのハルカスの竣工は 2014 年 3 月であるが構造設計の評価時、たまたま私が、日本建築総合試験所、構造審査委員会の委員長であった。設計・施工は竹中工務店であったが、高さ 300m の日本一高いビルであること、近くに上町断層があることから、実に繊細で用意周到な設計がなされていた。もちろん、Robustness（強靱性）と Redundancy（冗長性）の概念も構造設計の中に十分反映されていた。また、環境に対応するため二酸化炭素排出量も太陽光発電、風力発電、緑化対策などで通常のビルの排出量の 2.5% カットに成功している。このビルの耐震設計では、中地震では被害なし、大地震で

は軽微な被害、震度 7 の最大地震では小被害のなみコンセプトで設計されている。

地震エネルギーを吸収するためのダンパーでは、オイルダンパー、回転摩擦ダンパー、波型鋼板ダンパー、と心棒ダンパーと 4 種類のダンパーが配置され、いろいろなタイプの地震の振動特性に対応できるようになっている。また、コンクリートや鋼材には、開発されてきた高強度のものが使われている（Fig. 6）。



Fig. 6 Abeno-Harukasu, the tallest building in Japan

5. ニュージーランド生活の思い出

Photo2～4 に示すように、カンタベリー大学での教育、研究生生活、週末の乗馬、先住民のマオリの人たちとの心温まるふれあい。全てが満足を超え喜びに満ちたものであった。



Photo 2 The weekend life in New Zealand



Photo 3 The 120th anniversary, University of Canterbury, 1993



Photo 4 An experimental laboratory test for undergraduate students, University of Canterbury

6. 津波

1993 年 6 月北海道南西沖地震が発生，津波により，奥尻島が大被害を受け，死者 202 人，行方不明，住宅全壊 601，半壊 408 の大被害があった。私はニュージーランド調査隊の一員として来日，調査を行った。津波の遡上最大高さは 30.6m とされている。Photo 5 は，獺師町のあった青苗地区を示しているが，住宅はほとんど流失している。津波からの避難には車を使うというのが鉄則であるが Photo 6 は，その好例を示している。



Photo 5 Hokkaido Nanseioki Earthquake, 1993



Photo 6 A vehicle clashed by tsunami

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震でも津波被害はさらに甚大で，死者 19,418 人にも及んだ。住宅被害では全壊 121,809 棟，半壊 278,496 棟であった。

この津波では，鉄筋コンクリート建物の浮遊物の衝突による被害も多く，その対策が急務の一つとなった。これが，「津波浮遊物の衝突を受ける鉄筋コンクリート造壁の研究(科研A,2013～2016)」という題目で私の最後の研究となった。

7. 姉齒建築偽装事件

2005 年 11 月 17 日に国土交通省が，一級建築士姉齒氏による構造設計の偽装があったと発表した。98 棟にも及ぶマンションやホテルの構造設計が意図的に改ざんされていたのである。

京都府では，舞鶴と丹後のホテルでの偽装が問題となり，その対策委員長に任命された。偽装手口の大半は，計算の結果がアウトの出力を削除，OK と印刷したものに差し替えるなど極めて単純なものであった。ただし不適切な構造モデルの作成に関しては，無知なのか意図的なのか判断できなかった。Photo 7 は，実際の耐震補強工事を示す。



Photo 7 A strengthening work for a building intentionally false designed by Aneha

8. その他の思い出

2005 年から 2 年間河田恵昭教授が防災研所長となり対外広報担当副所長に指名されたが、その関係で京都テレビが防災の日特別番組に出演することとなった。私の出演時間は 30 分であったが、防災研施設の現地での紹介もあり、撮影には 7 時間を要した。司会兼レポーターは、河島英五の長女でタレントの河島あみるさんで、実に楽しい時間を過ごさせていただいた。

2011 年の 2 月 22 日に発生したニュージーランド、クライストチャーチで大地震が発生、CTV ビルが倒壊、富山からの語学留学生が 12 人亡くなった。その一周忌として NHK 富山放送が企画した番組に 1 時間出演した (Photo 8)。倒壊の原因について説明する役目であったが、撮影は 2 日がかかりであった。この時期、ドイツからのテレビクルーを含め、複数のテレビクルーのインタビューを受けたが一般の人に地震被害の原因を説明することの難しさを痛感した。



Photo 8 A special program to remember the tragedy of Christchurch Earthquake in 2011, broadcasted in 2012 by NHK

コンクリート構造・材料に関する国際基準 ISO/TC7 の委員を 1999 年から務めたが、2007～2008 年は委員長となった (Photo 9)。この役得は、国際会議の開催国が毎年変わるので見知らぬ国を多数旅行できたことであった。



Photo 9 As the representative of Japan, ISO/TC71

2010 年には中国の浙江大学に客員教授として呼んでいただいたが、これもよき思い出となった (Photo 10)。



Photo 10 As a professor invited by Zhejiang University, China, 2010

集成材を使ったスラブの開発では、プレストレスの技術を活用して長大スパンを可能にしたが、木の場合、クリープに関するデータが少なく、その採取に苦労したことが思い出になった (Photo 11)。



Photo 11 A creep test for the laminated timber

9. おわりに

わが半世紀において、よき師に恵まれ、暖く支援してくれる心優しき人たちに囲まれ、全く持って研究者・教育者として幸せな人生が送れたこと、関係の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- R. Park and T. Paulay(1975): RC Structures, John Wiley & Sons, Inc.
- T. Paulay and M.J. N. Priestley(1992): Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings”, John Wiley & Sons, Inc.

(論文受理日：2016年6月7日)