

地震動と地震防災

—先達の歩みをたどって—

太田 裕

愛知淑徳大学／東濃地震科学研究所

A Historical Sketch on Earthquake Strong Motions and Earthquake Protections -Marking Pioneering Studies by Late Prof. H. Kobayashi-

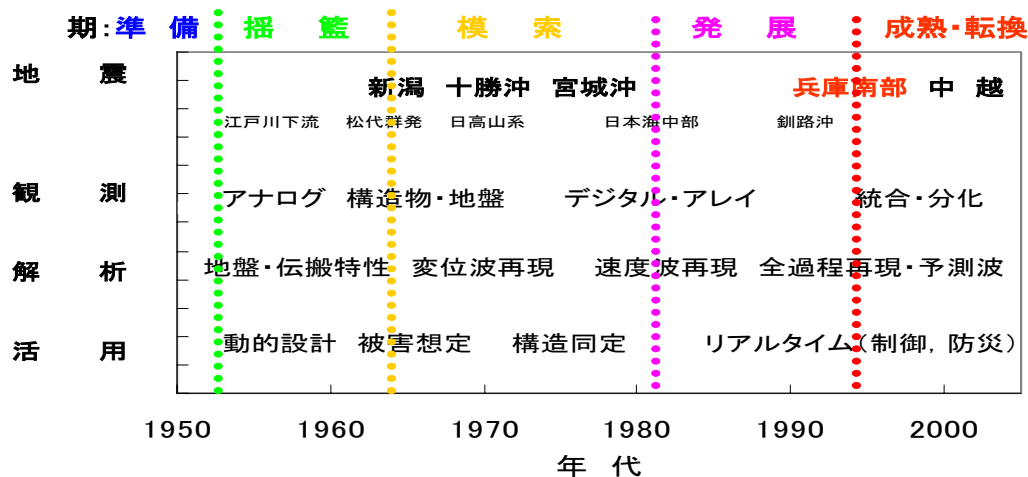
Yutaka OHTA

Aichi-shukutoku University /Tono Research Institute of Earthquake Science

1. はじめに

小林先生が東京工業大学を卒業され、新進研究者として活動を開始されたのが1947年(昭和22年)ですが、それから1年を経ずして起こったのが福井地震(1948)でした。これが先生の現地調査の初体験とお伺いしております。爾来50年強の長い年月を地震工学分野の発展と次世代研究者の育成に専心されました。福井地震は敗戦後最初の激甚災害地震であり、わが国の近代地震工学立ち上げの契機となった地震でもあります。往時、現地での食料もままならぬ中、徒手空拳の、しかし精力的な調査研究が進められたとのことです。しかし、激甚域の地震動強さを定量評価するための物理計測手段はほとんどなく、結果の解釈に大変なご苦勞があったわけです。これではならじと地震(工)学関係者が集まり、強震計開発を実行へと促した地震でもあります。以降、「研究は地震・観測につれ、観測は研究・地震につれ」の日々となって今日に至っております。

小林先生が深く関わって来られたわが国の強震観測がSMAC-A型と称する第1号機設置で始まったのが1953年でした。以降、半世紀が経過した昨年秋に「わが国の強震観測50年—歴史と展望—」と題する記念シンポが開催されました。筆者はたまたま、この組織の世話人を仰せつかっていたこともあって、「強震観測を核とした地震工学の変遷」について自分なりの覚え書きを作成する機会がありました。



第1図 わが国における強震観測50年の私的総括。

そして、福井地震以来の50年を10数年を1単位として4区分するのが適当であろうと考えてみました。

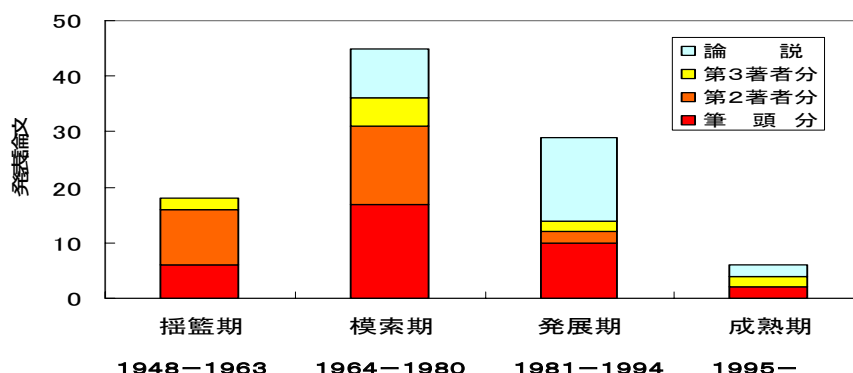
準備・揺籃期：1948－1963

模 索 期：1964－1980

発 展 期：1981－1994

成熟・転換期：1995－

これは年代区分点を「顕著な地震が発生し、前例のない強震記録が得られたとき」とか「地震（工）学上の大きな進展をみたとき」においた結果の私案です。第1図はこの区分にしたがい、[地震, 観測, 解析, 活用] の4項目について筆者なりにキーワードを入れてみたものです。



第2図 論文等発表活動.

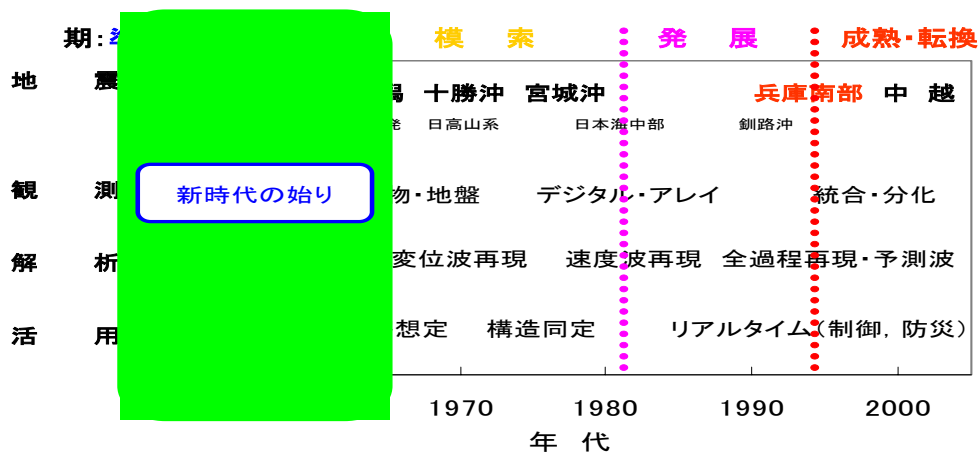
第2図は、小林先生の論文等発表活動をこの区分に沿って並べてみたものです（資料は翠川さんに提供いただきました）。これから、小林先生のご活躍の時期がわが国の地震工学～強震動地震学の発展の歴史と見事に一致していることが読み取れます。やや詳しくみると、中でも[模索－発展期]における活動がとりわけ際立っております。特に、論説の形で発表された **Leading Opinions** がこの時期に集中しており、精力的に活躍されていた様子を目の当たりにできます。小林先生はわが国の近代地震工学の発展と軌を一つにされる存在でした。より正確には模索～発展の最も重要な時期に強力な牽引車としての役割を担って来られた先達でした。

筆者が先生に初めてお目にかかったのは1965年（昭和40年）の頃と覚えております。当時、地震研究所の中で地震工学関係者による[1回/月]程度の小ゼミが開催されていましたが、組織を越えたオープンな会にすべしとの理念から小林先生チームの参加を仰いでいました。先生の出席率は抜群で、いつも鏡味さんを引率して現れ、闊達な意見交換が交わされていた、そんな折でした。以来、建築学会の地盤震動の委員会とか崎市の防災委員のメンバーとして多年にわたる厚誼をいただけてきました。近年は一詳しくは後述一、先生が会長として主導して来られた強震観測推進連絡会議の後釜を引き受けさせていただいております。そんな次第で、筆者が研究者として（ほとんど）第1歩を踏み出して以来、40年以上の長きにわたって胸をお借りしてきました。

以下は上記の、手前勝手な年代区分に沿って、これまた筆者の独断と偏見による地震工学上の話題を取り上げ、その中で先生のご活躍の一端に触れることとさせていただきます。なお、先生ご活躍のほぼ全期間（1950年代－1980年代）にわたる地震工学の発展を一望できる「年代別キーワード表」を工藤さん（地震研）に作成していただいたものがあり、これを付録として掲げておきます。ここにある課題の多くについて先生が先導的に関わってこられたこととはご承知の通りです。

2. 揺籃期 1948-1963

冒頭に述べたように、わが国の近代地震工学立ち上げの時期であり、小林先生が新進の研究者として活動を始められた時期でもあります。そして、いきなり福井地震に遭遇されました。そもそも地震（工）学の研究者が、研究者として初めて遭遇する地震は当然ながら以降の研究関心・態度に大きく影響するものと思われます。内陸・浅発型（＝起震断層型）地震の直撃によって壊滅的な打撃を受けた福井市を目の当たりにされた先生が「地震動の強さ」そのものに強烈な関心をもたれたのは故なしとは致しません。



第3図 準備・揺籃期.

学位論文（1961）「建築物に作用する震力に関する研究」にはこのときの現地調査が大きく影響していると仄聞しております。しかし、この時期の先生の主な研究関心は構造工学者として、外力として襲う地震動に耐える構造物の探求にあったように思われます。

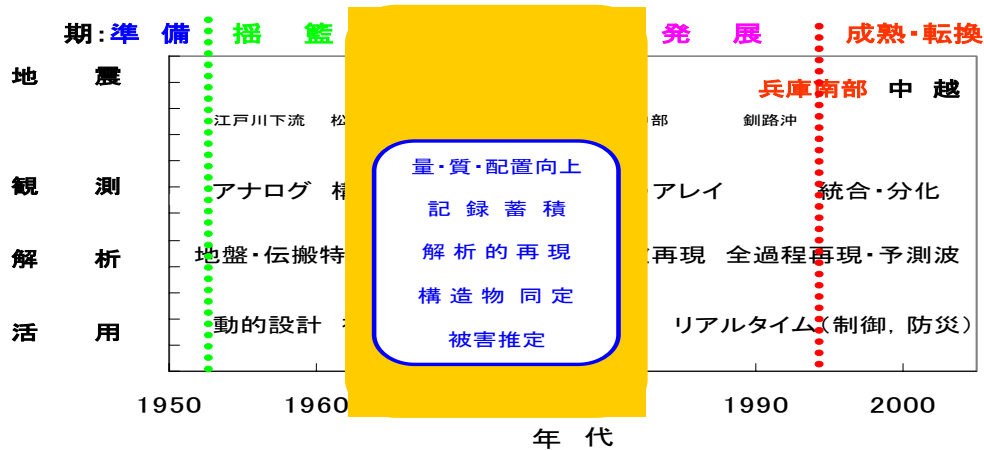
この揺籃の時期は現在もなお地震工学上の主題とされているほとんどの課題が研究の萌芽をみた時期でもあります。関東地震（1923）の被害資料を分析することで、地盤がもつ増幅特性の重要性を認識し、構造物の動的設計が試行されたのもこの時期でした。強震観測開始以来、初めての、それらしい記録「東京101」（江戸川河口地震）が得られたのもこの時期でした。1963年に始まり、1996年近くまで続いた松代群発地震群は短周期波卓越ながら観測加速度の最大値を度々塗り替えることで、強震動の多様性をかいま見せてくれました。

3. 模索期 1964-1980

この時期の幕開けを新潟地震（1964）と位置付けました。このとき信濃川河口域に立地する新潟市内で液状化に伴う「極端に長い周期の地震動からなる」強震記録が得られたこと、砂地盤上に建つ壁式RC造アパートが転倒しながらも崩壊しなかった等々、今も記憶に新しい衝撃的な事件が多発しました。次いで1968年には十勝沖地震が発生し、八戸港湾において「超」長周期の強震動を観測し、周期数秒に至る強震動が決して「まれな」現象ではないことを認識させられました。

前期の半ば過ぎに、地震工学の今一人の巨人である金井先生が『地震工学上最も重要な波はS波である』と喝破され、これを裏付けるべく精力的な活動をして継続しておられました。小林先生はこれに共鳴される形で、そして往時の衝撃の強震記録群に触れる中で、先生の研究関心が構造物の

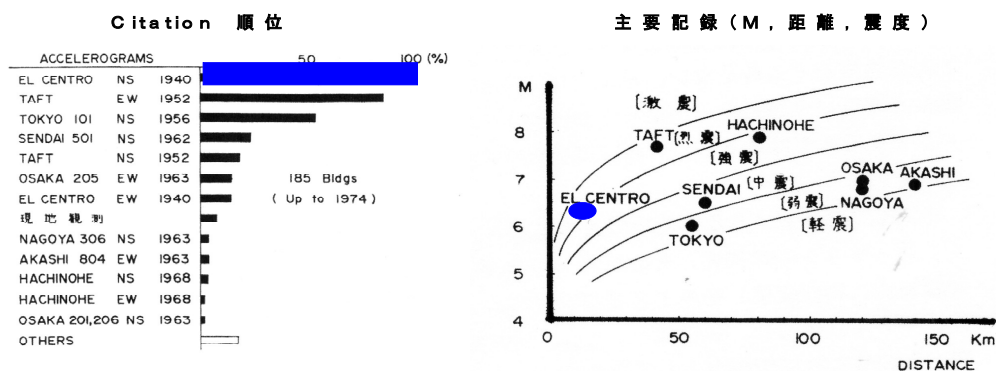
動的挙動から、構造物へ入力する強震動そのものへと大きく転換したことが読み取れます。1965-6年の頃でしょうか。以降の論文の多くが、「・・地盤・・」を表題としたものとなっております。地盤を振動体としてではなく、地震動の伝播媒体として一貫して見ておられるところに、工学系の多くの研究者と一線を画しておられる先生のスタンスが明瞭に現れているように思われます。



第4図 模索期.

1966年に始った川崎市防災専門委員会の「地の利」を得た活動がこれに拍車をかけたことは間違いありません。地盤内波動伝播に関する鏡味さん他との一連の研究、長橋さんとの基盤入力関連の研究が目を惹きます。この時期、筆者も川崎市防災専門委員会メンバーの一人として市海岸域でS波速度を行い、(工学的)地震基盤($V_s = 600 \text{ m/sec}$)の設定作業をしておりましたが、「結果を早く出せ」と先生から度々せつつかれたのを忘れられません。先生とグループによる一連の研究は Seismic Microzoning という言葉に集約・総括されてきました。また、地震国の多くにせつせと出かけられ、技術移転に努めておられます。

1974年時点



第5図 1974年時点 動的設計用強震記録のベスト10.

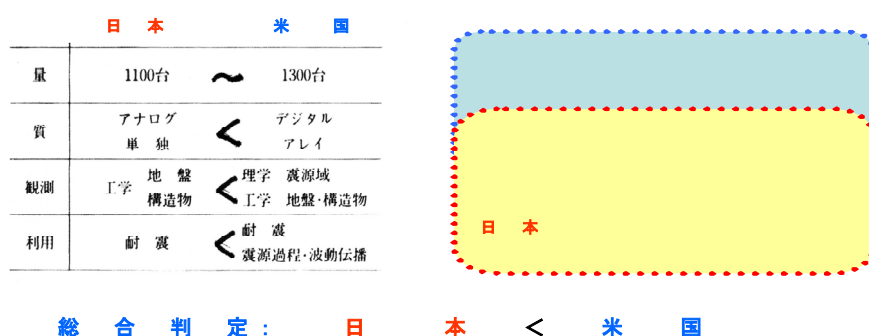
動的設計用入力として定番とされていた El Centro 波がもつ設計用地震入力としての万能性が

疑われ始めた時期でもあります。いつまでも借り着のままではなく、自前のもので耐震構造を実現したいとの思いの高まりでもあります。東京最寄りの強震記録として東松山地震（1968）にも注目されました。この時期の地震学上の一大エポックとして、米国は Parkfield 地震（1966）時に地表断層から80m地点で得られた強震（加速度）記録にもとづき「変位波」を見事に再現した安芸の研究（1968）が特筆に価します [これを書いている時点で、安芸先生の訃報に接しました]。参考までに1974年時点の設計用強震記録ベスト10を掲げておきます。国産の強震記録が次第に蓄積される様子が伺えます。

前期からこの時期にかけて、第2回目の日米論争が続いていました。関東地震等の経験を踏まえて「地盤の増幅性」を重視する日本一尖兵が金井・小林先生のグループに対して、起震断層型地震を常とする米国との認識ギャップの問題です（ちなみに、第1回目は震源を出るS波の象限型一わが国は4象限型を主張し、米国は2象限型を主張一に関わるものです）。この論争は相当長期間にわたって続きましたが、ご承知のように、「いずれか一方に偏しない」ということで今日に至っております。しかし、このように競争相手がいることで「地盤研究」も一段と冴え渡ったのも事実です。小林先生とチームの活動は群を抜いており、川崎市をモデル地区として始まり、関東圏に広がり、次の時期において翠川一小林の全国「地盤特性」版に到達したことはよく知られるところです。

この時期は強震観測がアナログからデジタルへと徐々に転換を見せてきた時期でもあります。同時に、構造物優先で設置されてきた強震計を（自由面をもつ）地盤に設置することの重要性がしっかりと認識され始めた時期でもあり、米国の提唱によって世界各地に拠点アレーネットを設ける運動が始まった時期でもあります（1978）。しかし、アレー観測への認識は米国に一步遅れていたようです。よくご存知のように、1979年には米国 Imperial Valley で、断層を横断するネットで見事なアレー記録がとれました。参考までにこの時期の日米一私的一比較図を掲げておきます。

日 米 間 比 較 (1) — 1 9 8 0 年 —

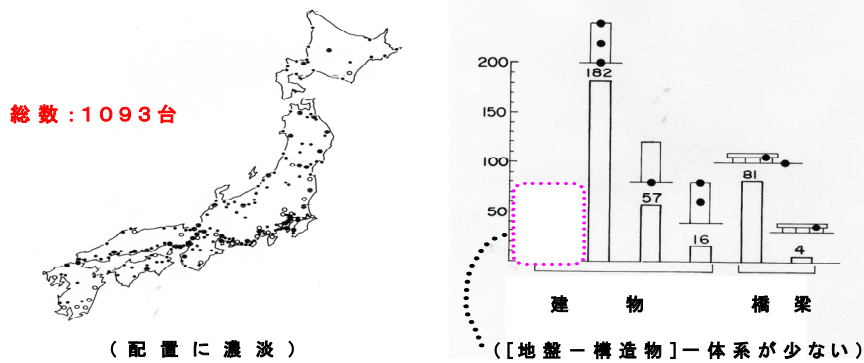


第6図 1980年時点日米間比較.

ちなみに、強震観測事業推進連絡会議（SEMOC）が岡本先生（土木工学）を初代会長として発足したのが1967年でした。小林先生が第2代会長として就任されたのは今少し後でしたが、強震観測の方式が機械式（SMAC型）から電気式に移行の時期にあり、記録紙の確保に東奔西走されたことは未だによく覚えております。縁の下の力持ちとして抜群の働きをされました。1977年時点のわが国の強震観測点資料を掲げておきます。観測点数は1,000点を越えていましたが、自然地盤上の観測点は非常に限られていました。小林先生が地盤上の観測の重要性を強く叫ん

でおられたのもむべなるかなと思わせます。

1 9 7 7 年 時 点



第7図 1977年時点強震観測点分布と設置対象.

この時期に小林先生を核とする研究チームの活動は最高潮に達しました。翠川—小林による断層エレメントから発生するパルス波として近似し、これを重畳することで観測点の強震動包絡波形を合成しようとした試み(1978)は「震源特性効果を工学に持ち込む」ことを企図したきわめて先駆的かつ実学的な研究として強く印象に残っております。

4. 発展期 1981—1994

この時期の冒頭を飾る事件はやはり日本海中部地震(1980)でしょうか。この地震では津波による人災が際立っていましたが、これに伴って地震情報の遅速が大きな問題となりました。リアルタイム地震情報システム導入への曙ともなりました。表面波が石油タンクを大きく揺さぶり、地震工学上重要な波動として覚知された地震でもあります。新耐震の規定導入の初年でもあります。



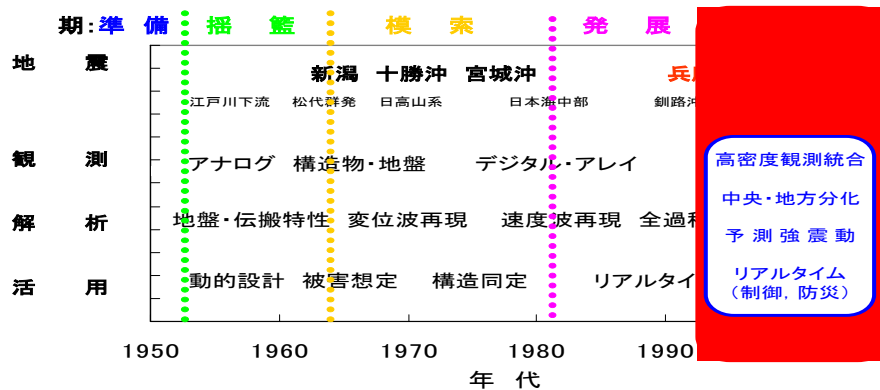
第8図 発展期.

震源近傍の強震動を重視する米国と地盤重視のわが国とのギャップはまだ埋まりきっていません。そんな中で、「地盤」の意味が次第に拡大されてきました。工学基盤のさらに下部に地震学の成果との整合性に留意した（形容詞なしの）地震基盤を求めることを強く意識したものでもあり、構造の2-3次元的非整合性に目を向けたものでもあります。他方、時とともに益々大型化（＝長周期化）する構造物の動特性評価に 대응することを旨としたものでもあり、1-2次の表面波も仲間入りしてきました。これらの問題についても先生の主導は際立っていました。一方で、嶋先生（地震研）と連携しながら南関東地域を対象に壮大かつ綿密な構造調査を進め、 $V_s=3\text{ km/sec}$ 層の形状を明らかにすると共に、大学を拠点とし西関東に広がる観測ネットを設営され、2-3次元構造が織りなす地震波変容への影響解明に向けて努力を継続されました。これには早期には瀬尾さんが、そして山中さんが今なお精力的に考究してきておられる主題でもあります。

1979年に得られた米国 Imperial Valley 地震のアレー記録の解析的再現が速度の次元で達成されたのが1981年でした。安芸先生が変位波を再現されてから13年の歳月を要しました。しかし、このことから「震源から観測点」までの全過程をモデル化することの高い可能性を意識するようになり、この流れの中で「震源か地盤か」の日米論争は一勝負なしの一自然の決着点にたどりついたわけです。以降は、速度の次元はもちろんのこと、さらに加速度記録の解析的再現を如何に達成するか、どこまで接近できるかに焦点が絞られてきたわけです。

5. 成熟・転換期 1995以降

いうまでもなく、この期の始まりは兵庫県南部地震（1995）です。関東地震以来の1世紀に1~2度の激甚地震でした。その後の地震諸学の深化・拡大については周知の通りで多言を要しません。近代都市直撃なるが故の被害の激甚性、多様・複雑性は想像を越えるものでした。

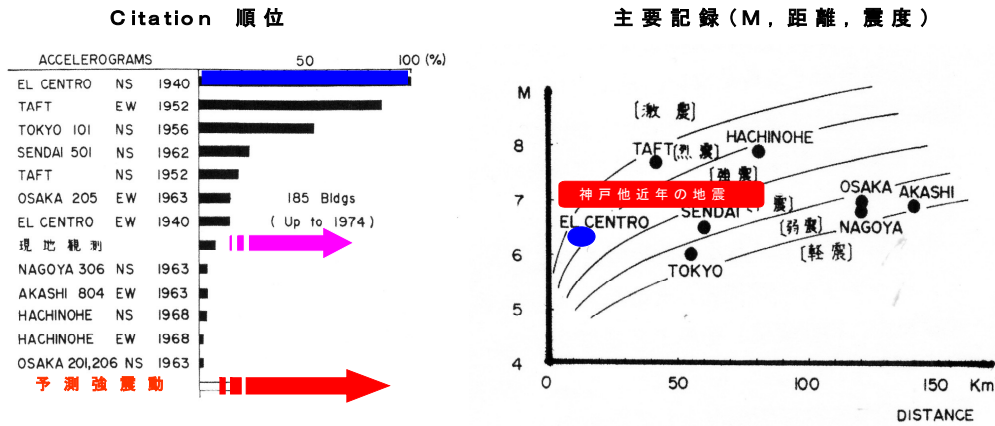


第9図 成熟・転換期.

しかし、その一方で、地震（工）学の関係者が行った、地震の発生から被災に至る一連の事象解明へ努力はまぎれなく空前のものでありました。これには前期に蓄えられた地震（工）学上の知の蓄積が大きく作用したことは疑問の余地がありません。まさしく、「研究・観測は地震に連れ・・・」の急展開の年月となりました。小林先生が長年にわたって主導された、わが国の強震観測網も格段の充実をみました。第5図と比較する意味で近年多用されている設計用強震記録を掲げておきます。ここでは現地観測波が格段に増加したこと、そして予測にもとづく人工強震動が新顔として登場す

る等、両者に格段の違いがあることは瞭然です。

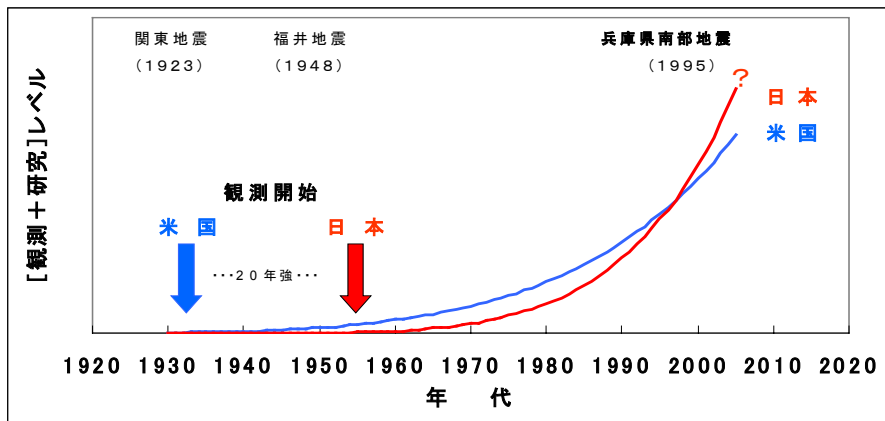
1974年時点以降～現在



第10図 現時点に至る設計用強震動記録リスト。

このような次第で、この地震の後、数年を経ずしてわが国の地震（工）学は米国のそれを多くの点で凌駕するに至ったといえると思われま。

日米間比較 (2)



第11図 現時点日米間比較。

そして 兵庫県南部地震から10年が経った今日、一つの円熟期に到達したと言っても過言ではありません。さりとて、これで満足するには自然（＝地震）ははるかな奥深さをもっています。兵庫県南部地震以後の顕著地震だけでも鳥取県西部地震、芸予地震、十勝地震等々と続き、昨年の新潟県中越地震に至るまでに、発生の際に新たな側面を見せております。建設系工学からは勿論のこと、国民全般からも地震諸学への期待は高まる一方で、こういった社会的要求に応えるためには今一段の飛翔が望まれることとなります。今、われわれは新たな転換期への入り口に立っていると思うの

は筆者一人だけではないでしょう。

6. 終わりに

思うがままにということで、かなりの私見となり、独断に偏した内容となってしまいました。この小文が小林先生の見事なご活躍と生き様に対して誤解に過ぎるとか、ひょっとして冒涇にさえなっているのではないかと案ずるところ多々です。先生は福井地震（1948）に始まり、兵庫県南部地震（1995）に至る50年以上にわたって、わが国の地震工学を「基礎工事から本建築に至る全過程」で力一杯働き、有為の後進を多々育成された稀有の先達でした。先生の、最後までもいえる論説が「福井地震と兵庫県南部地震」となっているのもきわめて象徴的であり、今にして思えば、ご自身の研究についてかなり早い時点で総括しておられたのかも知れません。

ある時、先生に「何故そんなにも精力的に研究推進を計っておられるのか」といった失礼なお尋ねをしたことがあります。先生と同年輩の多くの方が太平洋戦争で若くして亡くなられたとのことで、「彼らの分も働かねば・・・」と独り言もどきにお答えいただいたことに衝撃を受けました。今も忘れられない小林言行録の一つとなっております。今頃は「頑張ってきたぞ」と往時の仲間へ報告しておられることでしょうか。

（付記）先生は国・地域の防災行政にも数多くの場面で大活躍しておられますが、この小文では全く触れておりません。

参考文献

小林先生関連の論文等のリストは別途用意されることと思われしますので、ここにはわが国の地震工学発展を概観した論文・論説の若干を挙げるのみにさせていただきます。

- 1) 特集：日本の地震学の概観—地震工学，地震，20巻，（1967）。
揺籃期～模索期（の始まり）頃までの状況を知ることができる。先生ご自身も著者としてアナログ処理からデジタル処理時代への移行期を鮮明に書き残しておられる。
- 2) 総合報告：強震動地震学・地震工学研究の現状と展望，地震，47巻，（1994）。
兵庫県南部地震直前までの，到達点と課題が詳細にわたって展開されている。模索～発展期の全体像が的確に描写されている。小林先生のグループによる成果が際立っている。
- 3) 日本の強震観測50年記念特集，防災科研報告，近刊。
既に印刷済みであり，お手元に届けられる頃かと思われる。強震観測（の前史を含め），新潟県中越地震までをカバーしている。強震観測推進への小林先生のご尽力を垣間見ることができる。

付録 1950年代—1980年代における地震工学発展小史（工藤，1994）

項目	年代			
	1950年代	1960年代	1970年代	1980年代
地震動観測	日本の強震観測開始 (SMAC型強震計の開発) 地下の地震観測	SMAC型強震計の全国配備 地中地震計・地中観測	強震アレイ観測の提唱 (デジタル強震計の開発) 気象庁1倍強震計記録の利用	強震アレイ観測の実施 (強震記録のテレメータ化) 気象庁87型強震計の全国配備
顕著な地震	(福井地震, 1948)	広尾・新潟・松代地震 十勝沖, Parkfield地震	伊豆半島沖, 宮城県沖 地震等 San Fernando地震 Imperial Valley地震	日本海中部地震 Michoacan (Mexico)地震 Loma Prieta地震
地震動予測	金井式	金井式・震源近傍への適用	強震記録を用いた距離減衰式 特定地震による地震動予測 長周期強震動予測	経験式の精密化, 震源近傍への適用 経済的グリーン関数法による地震動予測
震源	マグニチュード	断層モデル+シミュレーション(無限) スケーリング則	断層モデル+シミュレーション (半無限, 多層構造)	断層の不均質運動の解明 (震源インバージョン)
地盤探査	P波, (表面波)	S波(実測) : 板叩き法 : 孔中地震計	都市域中規模人工地震探査 S波速度と土質の対比 深層ボーリング・探査	都市域人工地震探査 (屈折・反射) (関東・濃尾・大阪平野等) (3次元地下構造)
(対象深さ) 対象波動・周期	数10m S波(提唱)	100m以下 S波の多重反射, 1秒以下 (地震基盤1: $V_s \sim 700$ m/s)	数百m~数km 堆積層表面波, 2・3秒以上 (地震基盤2: $V_s \sim 3$ km/s)	数百m~数km 不規則構造での波動伝播 (数値シミュレーションの発展)
微動	常時微動測定	地盤種別評価への提案 微動の本性に関する検討	やや長周期(1~5秒) 微動	アレイ観測による地下構造の決定
構造物	低・中層	高層化, 超高層ビルの出現 原子力発電所	超高層ビルの普及, 長大橋 大型化, 線状構造物	免震・制震構造物
地域地震危険度	マクロゾーンネーション (河角マップ)	震度の通信・面談調査	マイクロゾーンネーション 震度のアンケート調査	高密度震度分布, 避難・人間行動 活断層を考慮した地震危険度
その他特記事項	建築基準法 各種土木施設耐震基準 World Conf. Earthq. Engineering	新潟地震: 地盤の液化化 広尾沖地震: 釧路大加速度 十勝沖地震: 鉄筋コンクリート造の大被害 地震予知研究計画	1g強の観測記録 大規模地震対策特別措置法 (仮想東海(駿河湾)地震) プレートテクトニクス	建築基準法施工令改正 国際防災の10年(提唱) 「表層地質の地震動への影響」ワーキンググループ