

# 日本における地震工学の発展

柴田明徳

## 1. はじめに

地震は人間にとって不思議な自然の現象であり、また多くの災厄を人間の社会に与えてきた。科学の時代になり、地震現象の理解（地震学）と共に、地震災害の解明とその防止（地震工学）のための探究が始まった。従来、地震に対する構造物の安全性を扱う工学の学問分野は、耐震構造あるいは耐震工学と呼ばれてきた。1950～60年代から、地震工学（Earthquake Engineering）という言葉が、応用地震学から社会安全学までの幅広い内容を含んで世界的に用いられるようになった<sup>70)</sup>。

ここでは、建築物の耐震を中心に、これまでの様々な地震災害と、多くの優れた先人たちによる地震工学の発展の過程を、駆け足で振り返ってみる。地震工学は、過去の災害の経験に学び、それを克服しながら、進歩してきた。しかし、社会の巨大化、複雑化により、これまでになかった困難な課題も新たに発生する。課題は多岐にわたり、工学だけでは解決できない問題が多くある。

私達一人一人が、過去を振り返り、その記憶を心にとどめ、将来に備えることが必要である。スライド資料を見ながら一緒に考えてみたい。

内容は、NTT ファシリティーズの SEIN WEB に掲載した「時代で見る耐震工学の今と昔」（2014～2015）<sup>1)</sup> に若干の追補・修正を行ったものである（スライド1）。

## 2. 過去の大地震と耐震構造

### 2.1 日本と世界の被害地震

丸善理科年表に「日本のおもな被害地震年代表」がある<sup>2)</sup>（スライド2）。1世紀ごとの数を数えてみたのがこのスライドの左列である。安土桃山時代までは、9世紀の15回を除いて各世紀とも10回以下であるが、江戸時代になると50回以上、明治以降はもっと増える。ちなみに奈良時代の人口は500万、江戸末で3000万、終戦の時7200万、平成で1億2000万、文明が発達すると災害も増える。

また、理科年表には「世界のおもな大地震・被害地震年代表」もある。1世紀以降の回数をスライドの右列に示す。世界の人口は1世紀には3億、18世紀には8億、1900年で16億、今は72億である。

#### 日本書紀の地震

日本で最初の地震の記録は、5世紀（允恭5、416年、大和）で、日本書紀に「地（なる）、震（ふる）」という記述のみがある（スライド3）。允恭天皇は倭の五王（讚・珍・濟・興・武、宋書倭国伝）の真中の濟（5世紀中頃）と言われ、古墳時代である。

2番目の記録は、6世紀の終り（推古7、599年、大和）の推古天皇の頃で（聖徳太子が摂政、飛鳥時代）、日本書紀に、「地（ない）動（ふる）りて、舎屋（やかず）悉（ことごと）に破（こぼ）たれぬ。則（すなわ）ち四方（よも）に令（のりごと）して、地震（ない）の神（かみ）を祭（いの）らしむ」とあり、これは最初の地震被害の記録である。理科年表ではM7.1としている。

日本書紀は、奈良時代元正天皇の養老4年（720年）に、舎人親王によって作られた。最初の地震（允恭5年）記事は編纂の約300年前、2番目の地震（推古5年）記事は120年前で、大分昔の出来事であ

るが、何らかの伝承、記憶があったのだろう。

### 貞観地震

9世紀は特別大地震が多かった様である。平安時代869年(貞観11)の**貞観地震**により、多賀城は大変な津波被害を蒙った。**日本三代実録**(901年成立)に津波被害の記述がある(資料1)。26歳の菅原道真は貞観地震の翌年に国家試験を受けて合格するが、その時の課題が「地震論」(辨地震)だった<sup>3)</sup>、<sup>4)</sup>。三代実録の編修には道真も関わっている(スライド4)。

多賀城には、貞観津波に縁のある「末の松山」の歌枕の碑がある(「契りきな かたみに袖をしぼりつつ 末の松山波こさじとは」、清原元輔(908~990)、百人一首)。2011年東日本大震災では末の松山のすぐ下まで津波が押し寄せた(スライド5)。貞観津波は、平安時代の人々の精神生活に大きな影を落としている。東日本大震災は、まさに869年貞観地震の再来であった。

### 天正地震

1585年の天正地震(M7.8(8.0))は、近畿、東海、北陸の広い範囲に大きな被害をもたらした。この地震の震源域は1981濃尾地震とほぼ重なる(スライド6)(羽島)。琵琶湖畔の長浜城は天守閣もろとも崩れ落ち、城主山内一豊と賢妻千代の一人娘の与祢(よね)姫が、建物の下敷きになり即死した。2006年のNHK大河ドラマ「功名が辻」を見た人も多いと思う(スライド7)。

2017年7月13日NHK「英雄たちの選択」の「秀吉の逆襲」では、天正地震が大きく取り上げられた。1584年の小牧長久手の闘いに敗れた秀吉が、家康打倒の準備を進めていた最中にこの地震が起こり、大垣城などの秀吉陣営は大被害を蒙ったが、家康側は小被害だった。このため、秀吉は軍事行動を諦め、家康に妹と母を人質に出し、代りに家康に上洛と臣従を要求して、これを実現させた。しかし、家康は関東で着実に力を蓄え(1590年関東移封)、秀吉は1598年に死去(1596年慶長大地震)、1600年関ヶ原の勝利を経て、家康は天下を取ることになる。日本の進路に地震が大きな影響を及ぼしたと言えよう。

### 中国の地震

中国は古来大地震が多い。中国で最も古い地震の記録は、紀元前1831年夏王朝の時に起こった泰山地震である(竹書紀年、279年竹簡出土)。2世紀132年の張衡の地動儀<sup>5)</sup>は有名で、上野の科学博物館に模型がある(スライド8)。菅原道真は、彼の「地震論」でこの地動儀に触れている。

1556年の華県地震(陝西)は、死者83万人とされ、史上最多である。

### 中近東の地震

中近東も地震が多い。聖書には地震に関係した記述が多くある。

イスタンブールのアヤソフィア寺院は、6世紀から何世紀にもわたって被害を受け、修理を続けている(スライド9)。以前、東京とオリンピックを争ったが、どちらも地震のリスクを抱えている。

## 2.2 昔の耐震構造

大熊喜邦(1877-1952)は1915年の建築雑誌で「日本の如き地震国にはその建築に古来耐震的用意がなければならぬが、僅かに地震の間と地震口なる名称とが書籍に見えるのみである。」と述べている<sup>6)</sup>。地震口は、避難のため所々の雨戸に設けた小さい出入り口である(スライド10)。なお、最近出版された濱島正士氏の「日本建築の独自性」(敬文社、2015年)によると、日本の社寺建築では長押の活用が耐震性を高めていること、筋かいの例もかなり古くからあること(奈良末の室生寺に遺例)などが述べられている。しかし、日本建築の耐震性への意識的な配慮は必ずしも一般的ではなかった様である。

### 地震の間

現存する地震の間として、彦根城地震の間(1677年)がある(スライド11)。齊田時太郎がこの建物

のを知り、調査結果を 1940 年の東大地震研究所彙報に書いた<sup>7)</sup>。最近、西澤英和はこの建物の詳しい検討を行っている<sup>8)</sup>。壁筋かいはないが、構造は念入りで、基礎部分にも工夫がある。なお、斎田時太郎は、蔵前を卒業後、三菱地所に入社、そのご東北大理学部に入學、東大大学院に進み、内田祥三に師事、東大地震研嘱託として長く勤務し、耐震問題に関する興味深い論文や論考も多くある。戦後の 1958 年、豊山高校の教諭の時、車にはねられて亡くなった。

### 弘前城

青森県の弘前城は特別な例で、明和 3 年（1766 年、死者 1000）の大地震の経験を活かし、地震後の改修に筋かい構造を採用している。本丸は明和地震の 45 年後 1811 年に建築されたが、筋かいが入っている（東北工業大学小野瀬順一名誉教授による）（スライド 12）。

しかし、ほかの日本の城や建物でこのような工夫をしているのは少ないようである。

## 2.3 リスボン大地震

西洋で最も知られた大地震は 1755 年リスボン地震であろう（スライド 13）。この地震では、死者 6 万 2 千、大津波、火災も起こり、リスボン市街が壊滅し、ヨーロッパ中に大きな衝撃を与えた。被害を書いた絵がたくさん残っており、その複製は後世まで長い間作られ続けた（スライド 14）。

時の宰相ボンパル侯爵は、地震後に基盤目状の都市計画（「ボンパルの下町」、バイシャ ポンバリーナ）でリスボンを復興した（スライド 15）。その時用いられたボンバル式建築は、木骨立体骨組を壁体内部に持つ耐震構造で、今でもその街並みが残っている。当時、模型骨組をつくり、周りを軍隊が行進して耐震実験をしたとのことである（スライド 16）。

カントはこの地震に大変興味を抱き、いくつか論文を書いたが、今から見れば、見当違いの所も多々ある。リスボン地震は西欧で啓蒙思想（科学的思考）の発展するきっかけになったと言われる。学問の世界だけだった構造力学が実際に応用されだしたのもこの頃である。フランスで軍隊の橋梁道路学校が出来たのが 1747 年、フランス革命後の 1794 年にはエコールポリテクニク（工科大学校）が発足した（創設者ガスパール・モンジュ）。

## 2.4 ナポリ大地震とロバート・マレット

リスボン地震から約 100 年後の 1857 年にナポリ大地震（バシリカ地震）が起こり、大きな被害が生じた（死者 1 万人。1861 年イタリア統一の前）（スライド 17）。

アイルランドの土木工学者ロバート・マレット（1810-1881）は、この地震被害を詳しく調べて、報告書“Great Neapolitan earthquake of 1857”を書いた（スライド 18）。

この本は、調査と観察に基づく近代地震学及び地震工学（observational seismology）の出発点と言えるだろう<sup>9)、10)</sup>（現物は東大図書館にある。関東大震災の後、英国から寄贈されたものである。また、Google の Public Domain Books でデジタル版が公開されている。）。

マレットは、地震に非常な興味を抱き、ナポリ地震以前の 1846 年にすでに論文「地震の動力学について」を發表し、複雑な地震を科学的な視点で解明しようと試みている。Seismology もギリシャ語の seismos(揺れ)からの彼の造語である。また、マレットは古今の膨大な地震資料を収集して地震カタログの作成を行い、これを基づいて 1858 年に世界の地震発生地図を出版している<sup>10)、73)</sup>。（文献 73）参照）

マレットはクリミア戦争の時、1 トンの砲弾を 2.4km 飛ばせるマレット砲（Mallet's Mortar）を設計したが、実戦には間に合わなかった（イギリス王立武器庫博物館（Royal Armouries, Fort Nelson）に屋外展示）。大砲の設計は昔から技術者の重要な仕事の一つで、レオナルド・ダ・ヴィンチも大砲の設計図

がある。“Mortar”：この語は本来は「乳鉢」や「臼」の意味だが、極端に肉厚で短い砲身が臼に似ることから同種の砲が Mortar と呼ばれるようになり、訳されて日本語では「臼砲」となった。）

## 2.5 安政東海・南海地震、江戸地震

その頃の幕末日本は、**安政の東海・南海地震**（1854年、死者3千人）、**江戸地震**（1855年、死者4千人）と大地震が相次ぎ、ペリーの黒船来航（1853-54年）もあって、まさに激動の時代だった（スライド 19）。地震の基は鯰大明神と考えていた日本に地震と耐震の新しい学問が起こるのは、明治開国の後である。

## 3. 明治期の耐震構造 - 濃尾地震

### 3.1 ジョン・ミルンと日本地震学会

明治維新の後、近代化を目指した日本は、西欧の学問・技術を導入するため、多くの「お雇い外国人」を招いた。その数は、3000~4000人と言われ、大半は若い人たちで、英国人が最も多くて半数近く、また米国、フランス、ドイツ、オランダ等からも招いた。日本の様々な制度や学問・技術の発展に対するかれらの貢献は、極めて大きかったと思われる。

**ジョン・ミルン**(1850-1913)は、工部大学校（後に工科大学）の鉱山学のお雇い外国人教師として、26歳の時ロンドンからイルクーツクを経てモンゴルを横断し、汽車、船、馬車、駱駝などによる半年の大旅行の末上海に到着し、1876年春東京にやってきた<sup>1)</sup>。そして函館の願成寺の娘トネと結婚し、19年間を日本で過ごすことになる（スライド 20、21）。

1880年の**横浜地震**を経験して大きな衝撃を受けたミルンは、世界で最初に**日本地震学会**を設立し、精力的に地震の研究を始めた。会長には服部一三を立て、自分は副会長として実質的に会の殆どの運営を行った。ミルンは同僚の**ジェームス・ユーイング**（ロード・ケルヴィンの愛弟子、機械工学・物理学、24歳で赴任、5年間在日）や**トマス・グレイ**（電信工学、5年間在日）等と共に地震計の開発に取り組み、幅広い地震学や耐震の研究を精力的に行った。ユーイングも地震の研究に熱心で、大学構内に地震観測所を設置している（1880年）。当時、多くの学者が地震に関心を持ち、政府側も地震研究が必要と考えていた様である。ミルンは1880年から1892年まで *Transactions of the Seismological Society of Japan* を16巻、その継続として1893年から彼が帰国する1895年まで *The Seismological Journal of Japan* 4巻を刊行している。ほとんど彼個人の非常な努力と熱意によるものである。（これらは東京大学の *UTokyo Repository* でデジタル版が公開されている。）（スライド 22）

### 3.2 関谷清景

1886年に帝国大学が発足し、**関谷清景**（1854~1896）<sup>12)</sup> が理科大学の地震学の初代教授になった。関谷は、美濃大垣藩の武士の家に生まれ、ユーイングの弟子で、ミルンからも学び、日本の地震学の構築に力を尽くした。生来強健であったが、若年時代のロンドン留学で肺病にかかり、その後も病に悩まされ、残念ながら早く亡くなった（スライド 23）。

### 3.3 濃尾地震

1891年に**濃尾地震**（M=8.0）が起こり、死者は7000人を超え、住家や土木建築構造物にも大きな被害が出た。根尾谷断層は、上下6m、水平2mずれた（スライド 24）。ミルンは、同僚のウィリアム・

バートン（衛生工学、浅草凌雲閣の設計者）、写真師の小川一真とともに調査に行き、立派な写真集（“The Great Earthquake of Japan 1891”）を出している<sup>13)</sup>（スライド 25）。

ミルンは、1895年にトネを伴って英国へ戻り、ワイト島ニューポートのシャイドで世界規模の地震観測を行った<sup>13)</sup>。ニューポートのカリスブルックキャッスル博物館はミルン関係の資料を収蔵・展示している（スライド 26）。

2013年はミルンの没後100年に当たり、ニューポートの町には記念のパブリックアートが作られ、様々な追慕の催しが行われた<sup>14)</sup>（スライド 27）。ミルンはこの町を愛し、いつも家の裏の小さいゴルフコースに通った。いまでも毎年ミルンカップの大会が続いている（スライド 28）。

日本地震工学会ホームページの出版物・書庫→地震工学資料にはジョン・ミルンドキュメンタリー「The Man Who Mapped the Shaking Earth（日本語字幕版）」がある。大変興味深いDVD資料なので、ぜひ一見をお勧めする。

樋口一葉（1872～1896）は、24才で亡くなる1896年（明治29）に、初めての著書「通俗手紙文」を出版した。その中に地震見舞いの文がある（スライド 29）（資料 2）。一葉は、日記の中で1981年濃尾地震にも触れている。また、1894年（明治27）には、明治東京地震（M7.0、南関東直下地震）があり、死者311人、浅草12階も被害で、一葉も日記に記している。世間の地震に対する関心は、当時かなり高かったことだろう。1896年は三陸地震津波の年でもある。

### 3.4 震災予防調査会と大森房吉

地震の翌年1892年には震災予防調査会が文部省に設置され、地震学や耐震構造学の研究が精力的に行われた。ここで大きな成果を挙げたのが第2代地震学教授の大森房吉（1868－1923）である（スライド 30）。彼は、地震学の多くの研究と共に、耐震構造の研究も進めた。振動測定も五重塔、浅草凌雲閣など沢山行っている<sup>15)</sup>。1890年に完成して「浅草十二階」と呼ばれた凌雲閣は、後の1923年関東地震で倒壊する。

調査・研究の成果をまとめた「震災予防調査会報告」は、第1号（1893年）から第101号（1927年）まで刊行され、関東地震までの約30年間、わが国の地震学及び耐震構造学の推進力となった（震災予防調査会報告は東京大学のUTokyo Repositoryで全部のデジタル版が公開されている。国立国会図書館の近代デジタルライブラリーにもある）。

なお、ミルンが殆ど独力で推進した日本地震学会は、調査会の設立に伴い1982年に解散する。（今村明恒により再設立、後述）

### 3.5 サンフランシスコ地震

1906年にサンフランシスコ地震（M=8.3）が起こり、死者は3000人、多くの建物が大被害を受けた。鉄骨の高層建物が大破し、大火災も発生した（スライド 31）。

スタンフォード大学はこの地震で大変な被害を受けた。地震の100周年に作られたホームページ（“Stanford University and the 1906 Earthquake”）には、大学の被災と復興の様子が詳しく出ていて、伝説のアガシ教授石造の転落写真もある（スライド 32）。当時の学長が、誰かが次の様に言った、と書いている。“Agassiz was great in the abstract, but not in the concrete.” Louis Agassizは、ハーバード大学教授、有名な地質・生物学者で、進化論の強力な反対者であった。この石像は殆ど無傷で、元の位置に戻されている（スライド 33）。

佐野利器（1880～1956）は、東京帝大の建築学科を出て3年目の26才で、震災予防調査会から大森房吉、中村達太郎両博士と共にサンフランシスコ地震の調査に赴いた。同年の建築雑誌「加州震災談」に被害の状況を報告し、鉄筋コンクリート造の耐震性を強く主張した<sup>16)</sup>。1910年に欧米を視察、1911～1914年ドイツに留学した佐野は、1914年に「家屋耐震構造論」<sup>17)</sup>を著して佐野震度を提唱し、1915年東大教授になる。

### 3.6 メッシナ地震と静的水平震度

1908年にイタリアでメッシナ地震（M7.1）があり、死者は8万2千人、近代ヨーロッパ史上最悪の地震被害をもたらした（スライド34）。脆弱な煉瓦造の建物は地震に耐えられず、メッシナの町は地震と津波で壊滅した。津波は最大12mに達したとされる。大森房吉は、この地震を調査し、Bulletin of the Imperial Earthquake Investigation Committee（Vol.3, No.2, 1909、震災予防調査会報告の英文版）に報告を寄せている。この地震では、当時開発が進んでいたウィーヘルト地震計などにより、各地で多数の地震記録が得られた。

この地震のすぐ後、イタリア政府は9人の技術者と5人の教授からなる委員会を作って調査と検討を命じた。その報告書では、建物は1階の重量の1/12、2階の重量の1/8の水平力に耐えるべき、としている。これは世界で最初の静的水平震度の考え方であった<sup>18)</sup>。

## 4. 大正・戦前の昭和の耐震構造 — 関東大震災

### 4.1 関東大震災

1923年（大正12）関東大震災は、死者10万の大災害をもたらした。後藤新平（1857～1929、「大風呂敷」のあだ名）は、帝都復興院の総裁として、区画整理と公園・道路の整備による東京の大復興計画を策定したが、議会や財界の反対などで大幅に削減された。しかし、昭和通り、靖国通り、明治通りなど、当時の計画によるいくつかの放射・環状道路は、今の東京の骨格を作っている（スライド35）。

東大の佐野利器は、後藤新平の依頼を受けて復興院及び東京市の建築局長として活躍し、市街地建築物法（1919年制定）の中に、1924年に世界で始めての法的な耐震規定、震度0.1を定めた<sup>21)</sup>。また、火災による死者が多数出た。墨田区の元陸軍被服廠跡地は、運動公園の計画のため空き地になっていたが、そこへ集まった人達を猛火が襲い、死者4万4千の大惨事になった。跡地の横網町公園に慰霊堂・復興記念館（伊東忠太）が建っている。慰霊堂には、その後の東京空襲による死者10万人も祀られている（スライド36）。

関東大震災で、RC8階の内外ビルは完成直前で崩壊した。これはアメリカ式の設計であった。復興記念館の外回りに、震災の記憶が陳列されていて、内外ビルの鉄筋コンクリート柱の一部もある（スライド37）。関東地震の被害の全貌は、「震災予防調査会報告第100号甲～戊」に取りまとめられている<sup>19)</sup>。

今まで何度か出てきた凌雲閣は、この地震で破壊され、工兵隊によって爆破された（スライド38）。寺田寅彦はこの現場を見ていて、「Liber Studiorum」（Book of Studies、ターナーの風景画集の名前）という題の随筆の中に、爆破の寸前、人々が後へ引く中を子犬がトボトボと現場へはいつて行ったが、あれはどうなっただろう、という意味の文章を書いている。これはネットの青空文庫にあり、無料で読める。

佐野利器は1920年日本大学の高等工学校校長に就任、1928年日大工学部発足に際し工学部長に就任する。

内藤多仲（1886～1970）が有名な「トランク間仕切り」の耐震壁理論で設計した日本興業銀行（鉄骨

造 7 階建) は、震災でも無被害だった<sup>20)</sup>。内藤は早稲田の建築学科の教授として多くの学生を育てた (スライド 39)。

米国では、1927 年に制定された Uniform Building Code (UBC) において、0.075~0.1 の設計震度が定められた。

#### 4.2 大森・今村論争

関東地震の前に、1905 年の雑誌「太陽」の記事から始まって長く続いた、有名な**大森・今村論争**がある (スライド 40)。関東地震の危険を力説する**今村明恒** (1870~1948) に対し、大森房吉はそれを否定する立場だった。この論争は、大森が震災直後に亡くなって決着する。大森の後、今村が東大の地震学教授になる。今村は、1929 年に地震学会を再設立し、「地震」を精力的に刊行する。(1943 年に休刊、1948 年 1 月 1 日今村の死去の後、巻号を継続して復刊。1945 年第 18 巻は 1948 年の刊行で、巻頭に河角広の弔辞がある。第 1 輯は 1929~1945 年、第 2 輯は 1948 年以降。1993 年 (平成 5) 日本地震学会と改称。地震研究所図書室→リンク→E-journal & E-book Portal→地震で検索→J-Stage の資料で閲覧可。)

#### 4.3 地震研究所と末広恭二

関東震災の 2 年後 1925 年に**東大地震研究所**が設立され、**末広恭二** (1877~1932、造船学) が初代所長事務取扱になった (スライド 41)。物理学の**寺田寅彦**も地震研究所を兼務した。末広の**地震波分解器** (1926 年) は、地震工学で一番大事な応答スペクトルにつながる最初の研究であった<sup>23)、24)</sup>。

1931 年に末広はアメリカのカリフォルニア大バークレイ、スタンフォード、CALTECH 及び MIT で講演を行い、関東地震の被害について述べると共に、当時まだ得られていない**強震記録**の重要性を強く訴え、米国の研究者に大きな感銘を与えた<sup>25)</sup>。その翌年に彼は 55 歳で亡くなるが、彼の講演内容を収めた 1932 年の ASCE 論文 (Engineering Seismology: Notes on American Lectures) の冒頭にある土木学会会長**ジョン・フリーマン** (1855~1932) の弔辞は、末広への敬意に溢れている。

**妹澤克惟** (1895~1944) は、東大船舶から、末広の要請により地震研究所に移り、地震波動の先端的研究を行った (スライド 42 左)。著書「振動学」(岩波、1932) では、機械、船舶、航空の振動及び、地震動、地盤・構造物の振動を論じている。また、金井清と共に地下逸散減衰に関する論文を出している (1935、1936 年)<sup>71)、72)</sup>。なお、石本巳四雄 (1893~1940) も、東大実験物理を出て船舶、三菱造船勤務の後、妹澤と同時に地震研へ入り、地震計、地震学の分野で大きな業績を挙げた。

**金井 清** (1907~2008) は、妹澤の下で地震学及び地震工学の研究を行い、戦前から戦後にわたって様々な優れた成果を挙げた (スライド 42 右)。「地震工学」(共立、1969) には、それらの集大成がある。

**谷口 忠** (1900~1995) は、蔵前を出て佐野の下で耐震構造を学び、東京工業大学 (1928 年設置) において長く耐震構造の研究教育に当たった (スライド 43)。

#### 4.4 強震観測

フリーマンは、米国での強震計の開発を強く推進する<sup>26)</sup> (スライド 44)。強震加速度計の開発は米国沿岸測量測地局 (U.S. Coast and Geodetic Survey, USCGS) により行われ、1933 年アメリカの**ロングビーチ地震**ではじめての強震記録が得られた<sup>27)、28)</sup>、**齊田論文**<sup>29)</sup>。その時得られた **Vernon 記録**は、NS 0.13G, EW 0.15G である (スライド 45)。推進者のフリーマンはこの前年 1932 年に亡くなっている。7 年後の 1940 年のインペリアルバレー地震では有名な**エルセントロ記録** (NS0.32G) が得られている。

日本では、終戦後の 1952 年から**強震計 SMAC** による強震観測が漸く始まる。

#### 4.5 応答スペクトル

地震工学の基本となる**応答スペクトル法**の概念を確立したのは、Caltech のモーリス・ビオー（1905～1985）である（スライド 46）。それは、彼の 1932 年の博士論文”Transient Oscillations in Elastic Systems”で提示された。年配の方には、カルマン・ビオーの「工学における数学的方法」は思い出の一冊であろう。カルマンは、ビオーの指導教授で、カルマン渦にその名がある。ビオーの 1941 年の BSSA 論文では、**機械的アナライザー**で実際の強震記録の応答スペクトルを求めている<sup>30)、31)、32)</sup>。

#### 4.6 剛柔論争

震災後に起こった**剛柔論争**は、佐野利器、武藤清らの剛構造派と、**真島健三郎**（1873～1941、海軍技師）の柔構造派の論争が 1927 年～1935 年頃まで続いたが、肝心の強震動の記録がないため、水かけ論になった<sup>21)</sup>。1935 年に京都大学の**棚橋諒**（1907～1974）が弾塑性ポテンシャルエネルギー説を出して一応の終了となった。京大に耐震の新しい学派が棚橋を中心に生れる（スライド 47）。

#### 4.7 土木耐震と物部長穂

**物部長穂**（1888～1941）は、1933 年の著書「土木耐震学」において、強震動、土木の地震被害、ダムや橋梁の耐震、塔状構造物の振動などを詳しく論じた。これは土木耐震に関するわが国最初の学問的業績である。多くの土木構造被害の例が写真で示されている。物部は幼年期に、幼年時に 1894 庄内地震、1896 陸羽地震を経験しており、そのことを著書で述べている（スライド 48）。

### 5. 戦後の昭和期の地震工学（1）－ 福井地震

#### 5.1 東南海地震と南海地震

1941 年から始まった太平洋戦争が 1945 年に終り、戦後の復興が始まる。終戦の前後に 1944 年**東南海地震**（M7.0、死 1223、大津波）と 1946 年**南海地震**（M8.0、死 1330、大津波）が発生した<sup>33)</sup>。困難な社会状況のため、残っている調査資料は少ない様である。歴史的に繰り返されるこの地域の大地震に対して、今村明恒は戦前から強い警告を発し続けた。今村の無念が思われる。防災教育の古典である「**稲むらの火**」（中井常蔵、原典は小泉八雲の”A Living God”（1854 年安政東南海地震）、広川町に浜口悟陵記念館）は 1937 年から 1947 年まで国定教科書に掲載されたが、その実現は今村の尽力による。

#### 5.2 福井地震と建築基準法の制定

戦後 3 年の 1948 年に**福井地震**が発生した（M7.1、死者 3769）。福井平野の建物被害は甚大で、全壊率 100%の部落も多く出た（断層と福井市の距離は約 4km）（スライド 49）。1950 年には**建築基準法**が制定され、震度 0.2、長期・短期許容応力度による耐震規定が定められた。福井地震から 3 年後の 1951 年（昭和 26）に、京都大学に**防災研究所**が設置された。初代所長は棚橋諒である。

#### 大和デパート

RC6 階建の大和デパートが崩壊した（戦災で焼けたビル、帯筋の少ない柱の破壊）。GHQ から福井地震の詳細な被害報告書が出ている（谷口仁士により複製版）<sup>34)、35)、36)</sup>。地震後に、震度 7（激震）が新設された（スライド 50）。

#### 丸岡城



震源地近くの福井県坂井市にある**丸岡城天守**が倒壊した（1576年（天正4）の築城）。明治4年に廃藩置県があり、多くの城が失われたが、丸岡城は明治5年に民間有志が買い取り、明治34年丸岡町へ寄贈した。戦前は国宝で、昭和15年には国の解体修理が行われた。昭和23年の福井地震で天守は完全倒壊したが、殆どの部材が保存され、町長や町民の熱意で昭和26年には再建修理工事が始まり、1955年（昭和30）に完成した。現在は重要文化財である<sup>37)</sup>（スライド51）。

福井地震の後も、戦後の日本では様々な自然災害が続いた。**1959年伊勢湾台風**は、死者5238人の大被害を齎した。これを契機に1960年に文部省の**自然災害科学研究**が始まり（代表 福井大長谷川万吉）、2000年まで40年の間継続し、大学の自然災害研究の発展に大きく寄与した（スライド52）。

### 5.3 地震工学の発展

第2次大戦後の耐震構造研究における世界のリーダーはカリフォルニア工科大学（Caltech）の**G. W. ハウスナー**（1910～2008）であろう。初期には、電子管アナログ計算機による応答スペクトルの研究を行った（1949年<sup>38)</sup>、<sup>39)</sup>、<sup>40)</sup>）。また、地震動特性や弾塑性地震応答等の広い分野で先駆的な研究を行い、CaltechでP. Jennings, R. Iwan等の優れた研究者を育てた（スライド53）。

1956年に**第1回世界地震工学会議（WCEE）**がサンフランシスコで開催された。地震により生ずる様々な問題を工学の視点から考える学問分野である**地震工学（Earthquake Engineering）**がここに始まる。

**第2回世界地震工学会議**は1960年に**東京と京都**で開かれた。強震記録と弾塑性の地震応答解析に基づく地震工学の新しい進展が始まる<sup>41)</sup>、<sup>42)</sup>、<sup>43)</sup>）。1963年には**世界地震工学会**が誕生し、初代会長には日本から東大の**武藤清**が選ばれた。世界地震工学会議は4年ごとに開催され、2012年には第15回がリスボン（リスボン大地震から257年）、第16回はチリのサンチャゴで開かれた。2020年の第17回は仙台で開催される。

米国では第二次大戦の前から、ニューヨークの**クライスラービル**（1930年、77階319m）、**エンパイヤステートビル**（1931年、102階381m）など、鋼構造の高層建築が次々に作られた。戦後は、ニューヨークの**ワールドトレードセンター**（1973年、110階417m、2001年崩落）、**シカゴのシアーズタワー**（1974年、108階442m）などが作られた。

地震の危険性がある西部でもロスアンゼルスに**ユニオンバンクビル**（1968年、40階157m）、サンフランシスコに**バンクオブアメリカセンター**（1969年、52階237m）などが作られた。

米国以外の地震国では、1956年メキシコ市に**ラテノアメリカーナタワー**（44階140m、当時の中南米で最高）が作られた。このビルの構造設計者は**L. ジーヴァール（Zeevaert）**と**A. ジーヴァールの兄弟**で、耐震設計の指導はイリノイ大学の**N. M. ニューマーク**（1910～1981）であった（スライド54）。

この建物は、1957年の地震（M7.9）や1985年の**メキシコ大地震**（M8.1）を経験したが、構造的には無被害であった。1957年地震では兄の設計者が屋上で、1985年地震では弟が上層の事務所でその揺れを経験した、という伝説がある。

日本で、高層建築への動きが起こるのは、戦後の経済発展が進んだ1960年代からである。1964年の**東京オリンピック**は、日本人に大きな自信を与えた。

### 5.4 震が関ビルと武藤清

**武藤清**（1903～1989）は、佐野利器の後を継いで、東京大学で耐震構造の研究を推進した。1961年から発足した東洋レーヨンの助成による**強震応答解析機 SERAC**の研究成果は、震が関ビルに始まる超高

層建物の発展を強く後押しした<sup>44)</sup> (スライド 55)。

SERAC は日立製作所が作った低速型のアナログ計算機で、フィルムに書いた地震波をカーブリーダーで読み取り、30 階の建物を 5 質点に置き換え、実際の 10 倍の時間で弾塑性地震応答の計算を行った。現在は国立科学博物館の倉庫にある。

弾塑性地震応答解析は当時の最先端のテーマで、京都大学では小堀鐸二 (1920~2007) らによりアナログ計算機を用いたパルス波等のモデル外乱に対する弾塑性応答や適正動力学特性の研究が行われた。また、建築研究所ではデジタル計算機を用いた弾塑性応答の研究が進められた。

1963 年に 31m の高さ制限が撤廃されて容積地域制になり、1964 年に日本建築学会から「高層建築技術指針」が出された。そして、1968 年に霞ヶ関ビル (36 階、147m) が完成した (スライド 56)。

武藤清は 1963 年に東京大学を退官後、鹿島建設の副社長としてその設計を指導した。わが国で初めての圧延 H 形鋼を用い、鉄筋コンクリートスリット耐震壁を併用した。また、デジタル計算機の急速な発達により、高層建物の詳細な弾塑性応答解析による耐震性能の検証が可能になる。

戦後の復興期には、建物に大きな被害を与える様な地震はしばらく起こらなかった。1964 年の新潟地震 (M7.5) では大規模な砂地盤の液状化現象が発生し、建築物が転倒した。

妹沢・金井によって始められた地盤・構造物相互作用による逸散減衰の研究は、戦後、Reissner、鳥海勲を経て、多治見宏、小堀拓二らにより大きく発展する (スライド 57)。

## 6. 戦後の昭和期の地震工学 (2) - 十勝沖地震、宮城県沖地震

### 6.1 十勝沖地震

1968 年に十勝沖地震 (M=7.9、死者 52 人) が起こり、東北地方に大きな被害を与えた<sup>45)</sup> (スライド 58)。特に、鉄筋コンクリート造建物の短柱に顕著なせん断被害が多数生じた<sup>46)</sup>。せん断破壊した短柱では、帯筋は 20cm 間隔であった。1971 年には RC 構造計算規準が改定され、また基準法施行令も改正されて、帯筋間隔は 10cm となった (スライド 59)。

強震記録も各所で得られた。港湾技術研究所の強震計は、八戸港湾で NS225 ガルを記録した。応答スペクトルの解析により、大地震時には、設計震度 0.2 よりはるかに大きい地震力が建物に加わることが、しだいに一般に認識されるようになる。

#### 耐震構造研究の進展

この地震の後、わが国の建築構造界は総力を挙げて、被害の解明と新たな耐震設計法の確立に向けて努力を重ねた。東京大学の梅村魁 (1918-1995 年) が 1969 年 1 月の建築雑誌に発表し、RC 基準の付録にもなった「鉄筋コンクリート構造物の耐震対策」には、強度とじん性の確保という耐震の基本理念が易しく明確に述べられている (スライド 60)。

1971 年の米国サンフェルナンド地震 (M=6.6、死者 59 人) は、ロスアンジェルス の病院や道路橋などに大きな被害を与え、カリフォルニア州の耐震基準や地震対策の検討が進む。

建設省は、1972 年から 5 か年をかけて「新耐震設計法 (案)」を取りまとめ、1977 年に公表した。土木及び建築構造物の耐震設計の新しい方向がここに示された。

### 6.2 宮城県沖地震

1978 年に宮城県沖地震 (M=7.4、死者 28 人) が起こり、仙台市を中心に建築物や都市機能に大きな被害を与えた<sup>47)</sup>。十勝沖地震と同様の建物被害が繰り返された (スライド 61)。

宮城県泉高校の鉄筋コンクリート柱は、大きなせん断被害を生じたが、十勝沖地震後に改正された基準で作られており、10cmの帯筋で軸耐力は保持された。この建物は耐震壁を増設して改修された（スライド 62 左）。青葉山工学部に建てられた 9 階建ての東北大学建設系建物（1969 年建築）は、1040 ガルの応答加速度を記録したが、妻耐震壁のきれつ程度の被害で、よく耐えてくれた。建物の応答で 1G にも及ぶ記録が得られたのは初めてである（スライド 62 右）。

東北大学の志賀敏男（1923－2009）は、十勝沖地震の後で低層鉄筋コンクリート建物の被害を詳しく分析し、壁・柱量と被害の密接な関係を表す志賀マップを作った（スライド 63）<sup>48)</sup>。この志賀マップは 10 年後の宮城県沖地震の被害に対しても非常によく適合した。

また、仙台市の水道、ガス、電気、交通などの都市機能は甚大な被害を受け、ライフラインの復旧と耐震対策が大きな課題となった。この地震の後、宮城県は、東北大の河上房義（1914～2000）（スライド 64 右）らと共に、「宮城県地震地盤図」（スライド 65）を作成した。都市の地盤特性の把握は、大崎順彦（1921～1999）（スライド 64 左）の「東京地盤図」（1958 年）が最初である。地盤特性の把握は、都市の地震被害の想定・評価に必須の重要課題であろう。

### 6.3 新耐震設計法

宮城県沖地震の 2 年後、1980 年に基準法が改正され、十勝沖地震以後に蓄積された研究成果を踏まえた新耐震設計法が定められた。中地震で 0.2（1 次設計）、大地震（2 次設計）で 1.0 のせん断力係数、固有周期の考慮（振動特性係数）、弾塑性応答の考慮（構造特性係数）など、実地震時における建物の動的性状が考慮され、わが国の耐震設計は飛躍的な進歩を遂げた。志賀敏男が精魂を込めた志賀マップも、この新耐震に取り入れられた（スライド 66）。また、60m 以上の高層建物に対して、地震波を用いた時刻歴応答解析による耐震計算が基準法の中に規定された。

### 6.4 耐震診断・改修

十勝沖地震の被害を踏まえて、RC 建物の耐震診断法の開発が進められ、1977 年には岡田恒男らにより既存鉄筋コンクリート造建物の耐震診断基準・耐震改修指針が作られた<sup>49)</sup>。また、1978 年には既存鉄骨造建物の耐震診断基準・改修指針が作られた。また、東海大地震の予想が 1976 年頃から社会的な注目を集め、静岡県などで地震への事前対策が熱心に論議される。しかし、耐震診断・改修が世に広く行われるようになるには、1995 年の阪神淡路大震災を待たなければならない。

### 6.5 新しい構造技術

超高層ビルの林立が、わが国の大都市の景観を変えてゆく。新宿副都心には、丹下健三による東京都庁（243m、43 階）が、成長期最後の 1990 年に完成する。

また、**超高層鉄筋コンクリート造建物**が、高強度コンクリートや高強度太径鉄筋の利用により可能となり、青山博之らの研究や建設各社の技術開発などにより、30～40 階の高層住宅が 1980～90 年代以降に作られてゆく。

**免震建築**も古くからの課題であるが、わが国では 1981 年に初めての免震建物「八千代台住宅」（2 階建て、天然積層ゴム、建設大臣特認）が多田英之らにより作られた。1987 年には東北大学青葉山に免震と非免震の RC3 階建て実験建物が、和泉正哲と清水建設により作られた。免震建物が急激に増えるのは、阪神淡路大震災以降である。

## 6.6 世界の地震被害

1976年の**唐山地震** ( $M=7.8$ ) は、北京から東に 140km の唐山市 (炭鉱と鉄鋼の重工業都市、当時人口 100 万) を壊滅させた。家屋や施設は殆ど崩壊し、死者は公式には 24 万 4 千人であるが、その 3 倍位とも言われ、20 世紀最大の地震災害となった (スライド 67 左)。この年に毛沢東が死んで、10 年にわたる文化大革命が終わり、中国の地震工学と耐震対策は新たな進展を始める。その後復興事業が進み、唐山市は現在 300 万の近代工業都市として発展している。

また、1985年の**メキシコ地震** ( $M=8.1$ ) は、メキシコの太平洋沿岸で発生した大地震であるが、震源から遠く 350km 離れた内陸のメキシコ市で、甚大な被害が生じた。死者は 9,500 人、あるいはそれ以上とされている。メキシコ市は、テスココ湖を干拓した軟弱な地盤の上に作られているため、地震時には 2 秒程度の周期の揺れが数十秒も続き、これに共振した中層建物が多数倒壊した (スライド 67 右)。前に出てきたラテノアメリカーナタワーは、固有周期が約 5 秒 (微動時) と長く、被害を受けなかった (スライド 54 右)。

## 7. 平成期の地震工学—阪神淡路大震災、東日本大震災

### 7.1 阪神淡路大震災

1995 年 1 月 17 日の早朝、阪神・淡路大震災 ( $M7.3$ ) が起こった。都市直下型の内陸地震で、死者は 6000 人以上、死因は古い住宅の倒壊によるものが殆どであった<sup>50)</sup>。土木・建築構造物への被害も甚大だった (スライド 68)。

古い神戸市庁舎 (8 階建、5 階まで SRC、6 階から RC、1957 年完成) の 6 階部分が崩壊したが、隣の新しい高層の市庁舎 (30 階 SRC 造、1989 年完成) では、構造被害はなかった (スライド 69 左)。

なお、米国では阪神大震災の 1 年前 (日付も同じ 1 月 17 日) に 1994 年ノースリッジ地震 ( $Mw6.7$ ) があり、ロサンゼルス市周辺の建物や道路橋に大きな被害が出た<sup>51)</sup> (スライド 69 右)。その丁度 1 年後が、大阪で開かれた日米都市防災会議の初日で、多くの日米双方の専門家が阪神・淡路大震災を実体験することになった。

### 7.2 耐震改修促進法

阪神大震災により、15 年前の 1981 年に制定された新耐震基準による建物の被害が、旧耐震基準による建物に比べて明らかに少ないことがはっきりした。この年、直ちに耐震改修促進法が施行され、旧耐震基準による建物の診断・補強が大きく進展する (スライド 70 左)。

神戸市には、震災の記憶を後世に残すため、2002 年に人とみらい防災センターが作られた。初代センター長は河田恵昭である (スライド 70 右)。

強震記録は、気象庁 (神戸海洋気象台、NS818 ガル、岩盤)、JR (鷹取、EW657 ガル、震災の帯の近く、1~2 秒の成分大)、大阪ガス (葺合、N240E687 ガル) など様々な機関で得られた。また、京都大学の土岐憲三らによる関西地震観測研究協議会の観測ネットワークで、多くの記録が得られた (神戸大学、EW305 ガル、原記録は速度計)。1 年後の 1996 年から防災科学技術研究所の **K-Net 強震観測** が全国規模で始まる。

### 7.3 性能規定型設計法

ノースリッジ地震やその前の 1989 年ロマプリエタ地震 ( $M_s=7.1$ ) の被害経験から、米国では**性能規定型**

耐震設計法の開発が進む。1995年には新しい耐震設計の方向を示した Vision2000 報告書<sup>5 2)</sup>が SEAOC (カリフォルニア構造技術者協会) から出され、1999年には性能耐震設計を目指した SEAOC Blue Book の新版が出た<sup>5 3)</sup> (スライド 71)。ここでは、Capacity Spectrum Method が弾塑性応答の近似評価法として用いられた (スライド 72)。

わが国でも、1998年に建築基準法が改正され、**性能規定型の設計体系**に移行することとなった(米国からの市場開放圧力もあった)。耐震設計では、2000年に等価線形化法(弾塑性応答の近似評価)に基づく**限界耐力計算**が基準法告示により導入された (スライド 73)。

阪神淡路大震災の後、免震・制震構造の普及が急速に進み、免震建築物に関する告示が 2000 年に出された。2005 年にはエネルギー法による耐震計算が告示で加わった。

2005 年には、一人の建築士が構造計算書の作成で不正を行った**耐震偽装事件**が社会問題になった。これにより、2007 年には基準法の改正が行われ、耐震基準は色々な面で厳格化された。

#### 7.4 東日本大震災

21 世紀に入り、2004 年にインドネシア西岸沖で起こった M9.1 のスマトラ地震津波は、死者・行方不明 22 万 800 人の大災害となった。M9 以上の地震は、20 世紀では、1960 年チリ地震 (M9.2、死者 5700、日本の津波による死者・不明 142)、1964 年アラスカ地震 (M9.2、死者 121 人) などがあり、いずれも環太平洋域で、津波被害を伴う地震である。

##### 東日本大震災 (東北地方太平洋沖地震)

2011 年 3 月 11 日に起こった**東日本大震災**は、日本の観測史上最大の M9.0、主要継続時間は 3 分以上という稀な巨大地震であった。死者・不明は 2 万余人、東日本の広域にわたる沿岸地域の津波被害は、6 年後の今でもまだ復興の途上である (スライド 74)。

東北大学建設系建物 1 階では、1978 年宮城県沖地震と 2011 年東日本大震災の両方で強震記録が得られている。最大加速度はあまり変わらないが、継続時間がまるで違う。東日本大震災では、3 つぐらいの大震が場所を変えて次々に起こっている様子が、記録から分かる<sup>6 6)、6 7)</sup> (スライド 75)。

仙台市の荒浜小学校 (RC 造 4 階建) では 320 人が避難し、皆救助された。津波避難ビルは人命上重要な問題である (スライド 76)。建物の構造被害は、新耐震による建物はおおかた大丈夫だったが、旧耐震の建物には従来と同様の被害が見られた。東北大青葉山工学部では、旧建設系建物<sup>5 4)</sup>を含め 3 棟が免震で建替えられた (スライド 77)。

建物の 2 次部材・設備の被害が顕著であった (スライド 76 右下)。2014 年には天井脱落防止とエレベーター・エスカレーター脱落防止に関する改正基準法が施行された。工場設備の地震被害による生産停止・経済損失も問題となった。地震リスク評価が今後の重要な課題である。

災害の調査報告については、関連諸学会の合同による総合的な全 29 巻の報告書が刊行中である<sup>5 5)</sup>。日本建築学会東北支部では、大災害を身近に経験した東北の研究者達による「2011 年東日本大震災 災害調査報告」を 2013 年に刊行し、その CD-ROM 版が 2015 年 5 月に刊行されている<sup>5 6)</sup>。

##### 原発災害、歴史津波

福島第一原発事故は全く未知の災害である。事故収束と放射能被害の対処に関する科学と技術の急速な整備・確立が必要である。津波想定については、歴史の視点が欠けていたと思う。原発敷地の元の標高は約 35m であったが、1~4 号機 (1971~78 年完成) の敷地は標高 10m まで、5~6 号機 (1978~79 年) は標高 13m まで削っている。実際の津波高さは 14~15m であった。1978 年宮城県沖地震の後、EERI の調査で一人来日した Yanev 氏は福島原発も訪れ、その外部及び内部の詳細な写真を報告書に載せてい

57) (スライド 78)。

東北大学の箕浦幸治(1949～)は、1991年の論文(J. of Geology)で、津波堆積物の解析から、貞観級の津波は仙台平野を800～1000年の周期で襲うことを科学的に証明した<sup>58)</sup>、<sup>59)</sup> (スライド 79)。

また、東北大学の今村文彦との共著論文(J. Nat. Dis. Sci., 2001)では、この地震をM8.3、津波高さ8m程度と推定している<sup>60)</sup>。2001年の東北大学「まなびの杜」広報誌で、箕浦は強い警告を発している<sup>61)</sup>。東北電力の阿部壽らは、箕浦の手法を用い、貞観津波の痕跡に関する研究を1990年に発表している<sup>62)</sup>。

郷土史家の飯沼勇義(1930～)は、仙台平野に襲来した巨大津波(貞観津波と慶長津波)について長年にわたり研究を続け、大地震の16年前の1995年にその成果「仙台平野の歴史津波」を仙台の宝文堂から出版した。そして、当時の藤井市長及び浅野県知事に対し、津波対策の必要性について陳情書を提出した。その予想がまさに現実となった<sup>63)</sup>、<sup>64)</sup> (スライド 80)。

### 東北大学災害科学国際研究所

2000年代に入ってから、東北地方では被害地震が続いて起こり(2003年宮城県北部地震、2008年岩手・宮城内陸地震など)、また推本による宮城県沖地震の長期予測もあって、地震に対する地域の社会的な関心が高まった。東北大学では、2007年に文系、理工系各方面の研究者が集まり、防災科学研究拠点のプロジェクトが始められた(代表平川新、東アジア文化研究センター、近世江戸史)。この組織は、2011年東日本大震災の後、1年にわたって活発な調査・研究活動を行った。2012年(平成24)には、東北大学災害科学国際研究所が、東北大学で6番目、戦後70年で初めての付置研究所として設置された(7研究部門、37研究分野、工学部災害制御研究センター(4分野)はその核となり発展的終了、初代所長は平川新(近世江戸史、現宮城学院女子大学長)、現在の2代所長は今村文彦(津波工学)) (スライド 81)。

## 8. おわりに

歴史学者の磯田道史(1970～)は、近著「天災から日本史を読みなおす」(中公新書、2015)で、日本中に散在する歴史資料から、地震災害と社会の様々ななかかわりを、情熱をもって丹念に掘り起し、私たちに示している<sup>66)</sup>。子々孫々への災害記憶の伝承が、災害の防止・軽減に極めて重要である(スライド 82)。

地震工学は、過去の災害経験の上に、進歩を重ねてきた(スライド 83)。しかし、大地震の度毎に、思いもかけない災害が発生する。急速に進化する複雑な現代社会が自然災害に立ち向かうには、理・工学だけでなく、人文・社会学なども含め、社会のすべての分野の連携が必要である。そして、私達一人ひとりが、過去の災害をしっかりと記憶にとどめ、明日の暮らしに生かしてゆかねばならない(スライド 84)。

## 参考文献

- 1) NTT ファシリティーズ、SEIN WEB、時代で見る耐震工学の今と昔、2014～2015年、<https://www.sein21.jp/NewSeinWeb/TechnicalContents/Shibata/Shibata0101.aspx>
- 2) 理科年表 平成26年、丸善、2013年
- 3) 日本古典文学大系72、菅家文草・菅家後集、551頁～、岩波書店
- 4) 柴田明德、仙台平野の巨大津波について、建築技術、2012年2月号
- 5) 今村明恒、地震漫談(其の30)千八百年前の地動儀、地震、8巻7号、1936年
- 6) 大熊喜邦、地震の間と耐震的構造に対する観念、建築雑誌、29巻、345号、607～621頁、1915年9月
- 7) 斎田時太郎、彦根城地震の間について、東京帝国大学地震研究所彙報、第18号、1940年(昭和15)、692～697

- 8) 西澤英和、日本建築の地震備えを考える－地震の間と岡式免震基礎を巡って、季刊大林、No.52、2010
- 9) Robert Mallet, Great Neapolitan earthquake of 1857 : the first principles of observational seismology as developed in the Report to the Royal society of London of the expedition made by command of the Society into the interior of the kingdom of Naples, to investigate the circumstances of the great earthquake of December 27, Vol.1, Vol.2, Chapman and Hall, 1862
- 10) R. M. Wood, Robert Mallet and John Milne – Earthquakes Incorporated in Victorian Britain, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Special Issues, Vol.17, 1988, 107 – 142  
( : Mallet, R., On the dynamics of earthquakes ,Trans. Roy. Ir. Acad., 1848)
- 11) レスリー・ハーバート＝ガスタ、パトリック・ノット (宇佐美龍夫監訳)、「明治日本を支えた英国人 地震学者ミルン伝」、日本放送出版協会、1982年 (昭和 57)
- Leslie Herbert - Gustar and Patrick Nott, “John Milne The Father of Modern Seismology”, Paul Norbury Publications Ltd. Kent, England, 1980
- 12) 橋本万平、地震学事始－開拓者・関谷清景の生涯、1983、朝日新聞社
- 13) John Milne and W. K. Burton, “The Great Earthquake in Japan, 1891, Lane, Crawford & Co. Yokohama, Japan, 1892
- 13) 柴田明德、ジョン・ミルン没後 100 年、日本地震工学会誌、No.18、2013 年 1 月号
- 14) <http://www.isleofwightsociety.org.uk/jmilne.aspx>:  
“Celebrating the life and work of the Seismologist Professor John Milne 1850 – 1913”
- 15) 大森房吉、構造物振動験測調査報告 前編、震災予防調査会報告第 97 号 (甲)、1921 年
- 16) 佐野利器、「米国加州震災談(一)」、建築雑誌 238 号、1906 年、「同 (二)」239 号 1906 年、「同 (三)」241 号 1907 年
- 17) 佐野利器、「家屋耐震構造論」、震災予防調査会報告第 83 号、(甲) 1916 年、(乙) 1917 年
- 18) International Handbook of Earthquakes and Engineering Seismology, A, B Academic Press 2002, “2 – Historical View of Earthquake Engineering”, 13 - 18  
(Proceedings of the Eighth World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, California, 1984, Post-Conference Volume, pp. 25 - 38) (メッシナ地震)
- 19) 震災予防調査会報告第 100 号 地震編 (甲) 1925、地変及津波編 (乙)、建築物編 (丙、上下)、建築物以外の項作物編 (丁、上下)、火災編 (戊)、1925 年
- 20) 内藤多仲、日本の耐震建築とともに、雪華社、1970 年 (昭和 45)
- 21) 大橋雄二、日本建築構造基準変遷史、日本建築センター、1993 年
- 22) 青山博之、免震構造と剛柔論争、論点、建築雑誌、Vol.103、No.1279、1988 年 11 月
- 関連文献：
- 佐野利器、「耐震構造の諸説」、建築雑誌 491 号、1927 年 (昭和 2)
- 真島健三郎、「耐震構造問題に就て」、建築雑誌 491 号、1927 年
- 真島健三郎、「佐野博士の耐震構造上の諸説を読む」、建築雑誌 494 号、1927 年
- 武藤清、「付録第二 家屋の耐震設計方針について」、建築雑誌 528 号、1929 年
- 武藤清、「真島氏の柔構造論への疑ひ」、建築雑誌、1931 年 (昭和 6) 3 月
- 真島健三郎、「柔構造論に対する武藤君の批評に答え更に其の余論を試み広く諸家の教を仰ぐ」、建築雑誌、1931 年 5 月
- 棚橋諒、「地震の破壊力と建築物の耐震力に関する私見」、建築雑誌、1935 年 (昭和 10) 5 月
- 真島健三郎、「棚橋諒君の新説[地震の破壊力と建築物の耐震力に関する私見]を一読して感想を述ぶ」、建築雑誌、1935 年 10 月
- 23) Kyoji Suehiro, “On the Nature of Earthquake Motions examined by a Seismic Vibration Analyser” ,

Proceedings of the Imperial Academy, II、1926, pp.268-270

- 2 4) 末広恭二、「地震波分解器及其記録」、Bull. Earthquake Research Institute, I, 1926, pp.59-64
- 2 5) Kyoji Suehiro, “Engineering Seismology: Notes on American Lectures”, Proc. ASCE, LVIII, No.4, 1932
- 2 6) John R. Freeman, “Earthquake Damage and Earthquake Insurance”, McGraw Hill, 1932
- 2 7) H. O. Wood, “Preliminary report on the Long Beach earthquake”, BSSA, April 1933
- 2 8) F. P. Ulrich, “The Strong Motion Program of the United States Coast and Geodetic Survey”, BSSA, 1935 (ロングビーチ記録と強震計について述べている。なお、冒頭には、Freeman の強震計設置への強い希望についての記述がある。)
- 2 9) 齊田時太郎、「ロングビーチ震災による地震工学の収穫」、地震第1輯、6. 6、1934年、318-325
- 3 0) M. A. Biot, A Mechanical Analyzer for the Prediction of Earthquake Stresses, BSSA, Vol.31, No.2, 1941
- 3 1) M. D. Trifunac and M. I. Todorovska, Origin of the Response Spectrum Method, Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, 2008, Beijing, China
- 3 2) M. D. Trifunac, 70-th Anniversary of Biot Spectrum, ISET Journal of Earthquake Technology, Vol.40, No.1, 2003, Indian Society of Earthquake Technology
- 3 3) 日本建築学会、東南海および南海道両地震調査報告、1965年
- 3 4) THE FUKUI EARTHQUAKE, HOKURIKU REGION, JAPAN 28 JUNE 1948 VOLUME 1, GEOLOGY, VOLUME 2, ENGINEERING, PREPARED BY OFFICE OF THE ENGINEER, GENERAL HEADQUARTERS, FAR EAST COMMAND, February 1949
- 3 5) 谷口仁士、「よみがえる福井震災」 全2巻、1998年、(株)現代史出版
- 3 6) 久田俊彦、改訂版 地震と建築、鹿島出版会、1982年(昭和57)
- 3 7) 高野宏康、福井地震後における丸岡城の再建と「町民意識」、歴史地震、第20号、2014年
- 3 8) G. W. Housner, Calculating the Response of an Oscillator to Arbitrary Ground Motion, BSSA, vol. 31, 1941, pp. 143-149
- 3 9) M. D. Trifunac, Guest Editor’s Note, ISET Journal of Earthquake Technology, Vol.44, No.1, 2007, Indian Society of Earthquake Technology
- 4 0) G. W. Housner and G. D. McCann, The Analysis of Strong-Motion Earthquake Records with the Electric Analog Computer, BSSA, vol.39, no. 1, Jan. 1949, pp. 47-57
- 4 1) G. V. Berg and S. S. Thomaidis, Energy Consumption by Structures in Strong Motion Earthquakes, Proc. of 2WCEE, Tokyo-Kyoto, 1960
- 4 2) N. M. Newmark and A. S. Veletsos, Effect of Inelastic Behavior on the Response of Simple Systems to Earthquake Motions, Proc. of 2WCEE, Tokyo-Kyoto, 1960
- 4 3) J. Penzien, Elasto-Plastic Response of Idealized Multi-Story Structures Subjected to a Strong Motion Earthquake, Proc. of 2WCEE, Tokyo-Kyoto, 1960
- 4 4) 武藤清、耐震構造の発達—超高層ビルへの道—、武藤清教授最終講義、1963年(昭和38)
- 4 5) 日本建築学会、1968年十勝沖地震被害調査報告書
- 4 6) 青山博之、建築界に与えたせん断破壊の衝撃、1968年十勝沖地震の被害調査と研究、デジタルアーカイブ、2010年、(株)構造システム
- 4 7) 日本建築学会、1978年宮城県沖地震災害調査報告書
- 4 8) 志賀敏男、柴田明德、高橋暉雄、鉄筋コンクリート造建物の震害と壁率、日本建築学会東北支部研究報告集、第12号、1968年12月
- 4 9) 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説、日本建築防災協会、1977年



- 5 0) 日本建築学会、阪神・淡路大震災調査報告、共通編 1～3、建築編 1～10
- 5 1) Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering (CUREE),  
Historic Development in the Evolution of Earthquake Engineering adapted from the  
2000 CUREE Calendar, illustrated essay by Robert Reitherman  
[http://www.curee.org/image\\_gallery/calendar/essays/2000-CUREE\\_excerpt.pdf](http://www.curee.org/image_gallery/calendar/essays/2000-CUREE_excerpt.pdf)
- 5 2) Structural Engineers Association of California (SEAOC), Performance Based Seismic Engineering  
of Buildings, Volume I (Part 1, Part 2), Volume II (Part 3, Part 4), April 1995 (Vision2000 Committee,  
1992 )
- 5 3) SEAOC, Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, Seventh Edition, 1999
- 5 4) 東北大学工学部 人間・環境系研究棟の記録、東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻、2014
- 5 5) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会 (日本地震工学会、日本地震学会、土木学会、日本建築学会、  
地盤工学会、日本機械学会、日本都市計画学会、日本原子力学会)、「東日本大震災合同調査報告」、共通編 (3)、  
土木学会編 (8)、日本建築学会編 (11)、地盤工学会編 (3)、日本機械学会編 (1)、日本都市計画学会編 (1)、  
日本地震工学会編 (1)、総集編 (1)、全 29 巻、2014 年 2 月～刊行中
- 5 6) 日本建築学会東北支部、2011 年東日本大震災災害調査報告、2013 年 (完売)、2015 年 CD-ROM 版
- 5 7) P. I. Yanev (Editor), Earthquake Engineering Research Institute, Reconnaissance Report, Miyagi-  
Ken-Oki, Japan Earthquake June 12, 1978
- 5 8) Minoura, K. and S. Nakaya, Traces of tsunami preserved in inter-tidal lacustrine and marsh deposits:  
Some examples from northeast Japan, Journal of Geology, vol. 99, No. 2. p. 265-287, 1991
- 5 9) 箕浦幸治、古津波の研究、学士會会報、No.890、16-24、2011
- 6 0) Minoura, K. , F. Imamura, D. Sugawara, Y. Kono, and T. Iwashita, The 869 Jogan tsunami deposit  
and recurrence interval of large-scale tsunami on the Pacific coast of northeast Japan, Journal of Natural  
Disaster Science, vol. 23, p. 83-88, 2002
- 6 1) 箕浦幸治、津波災害は繰り返す、東北大学広報誌まなびの杜、16 号、2001
- 6 2) 阿部壽・菅野喜貞・千釜 章、仙台平野における貞観 11 年 (869 年) 三陸津波の痕跡高の推定、地震  
第 2 輯、第 43 巻、513-525、1990
- 6 3) 飯沼勇義、仙台平野の歴史津波、宝文堂、1995
- 6 4) 飯沼勇義、3. 1 1 その日を忘れない、鳥影社、2011
- 6 5) 磯田道史、天災から日本史を読みなおす、中公新書、2015 年；磯田道史、歴史の愉しみ方、第 4 章 震  
災の歴史に学ぶ、中央公論新社、2012 年；磯田道史、無私の日本人、文芸春秋社
- 6 6) 日本建築学会東北支部、東北地方で観測された 2011 年東北地方太平洋沖地震の建物・地盤系強震デー  
タ集、Ver.1
- 6 7) (一社) 建築性能基準推進協会、代表的な観測地震波 (加速度データ)
- 6 8) 金井清、エンジニアリング サイスマロジー、地震第 2 輯、第 19 巻、1966、23-30 頁 (Kiyoshi Kanai,  
Earthquake Engineering – Engineering Seismology)
- 6 9) 齊田時太郎、ロングビーチ地震による地震工学の収穫、地震、6、1934、318-324 頁
- 7 0) Reitherman, R., Earthquakes and engineers, ASCE Press, 2012
- 7 1) 妹沢克惟, 金井清 : Decay in the Seismic Vibration of a Simple or Tall Structure by Dissipation of  
Their Energy into the Ground, (勢力の地下逸散のために生ずる高層構造物の震動 減衰) 地震研究所彙報, 第  
13 号, 第 3 冊, 1935, pp681-697
- 7 2) 妹沢克惟, 金井清 : Improved Theory of Energy Dissipation in Seismic Vibrations on a Structure, (構  
造物に於ける震動逸散理論の吟味) 地震研究所彙報, 第 14 号, 第 2 冊, 1936, pp164-168
- 7 3) 柴田明德、地震工学の今昔、日本地震工学会誌、27 号、42-46、2016 年 2 月

## 資料 1

日本三代実録卷十六より（書き下し文）

（貞観十一年五月）廿六日癸未。陸奥國の地、大いに震動す。流光晝の如く隠映（いんえい）す。頃（しばら）く、人民叫呼（きょうこ）し、伏して起（た）つ能はず。或（あるい）は屋仆（たお）れて壓死し、或は地裂けて埋殮（まいえい）す。馬牛駭（おどろ）き奔（はし）り、或は相（あい）昇踏（しょうとう）す。城郭倉庫、門櫓（もんろ）墻壁（しょうへき）、頽落（たいらく）顛覆（てんぷく）するもの、其の數を知らず。海口（かいこう）哮吼（こうこう）し、聲は雷霆（らいてい）に似たり。驚濤（きょうとう）涌潮（ようちょう）、浜洄（そかい）漲長（ちょうちょう）し、忽ち城下に至る。海を去ること數十百里、浩々（こうこう）として其の涯涘（がいし）を弁ぜず。原野道路、惣（すべ）て滄溟（そうめい）と爲（な）る。船に乗るに遑（いとま）あらず、山に登るも及び難（がた）し。溺死する者、千許（ばか）り、資産苗稼（びょうか）、殆んど子遺（けつゐ）無し。

## 資料 2

樋口一葉「通俗書簡文」（1896年）より

地震見舞の文

一昨十五日の夜の地震は、東京もいつもよりは時間少し長く、戸外に走り出でし人など無きにはあらざりしが、棚のものなどだに落ぬほどなれば、左までの事とも存じ申さず候いしに、今朝ほどの新聞にて見候えば、さてさて御地のすさまじかりしこと、地もさけ、川もあふれ、潰れ家怪我人数しれず、夜より朝にかけて震いし数は五十度、今も猶折々の小さきは絶るまなく、人々野宿して安き心もなきよしと御座候。御家あたりは場所がらいか候いしや、同じ町といえど処によりては左までにあらぬもあり、多くの中に唯一構えつづれ残れる家もあり、など書かれたるは其御幸福のうちなれかしと祈られ申候。御様子承り度、さしいそぎ文奉り候。かしこ。

同じ返事

おそろしき夢のまだ覚はてぬ心地にて、有さま委しゅうもしたためあえず、大かたは東京の新聞にて御推量りの通開關以来と一口に申候えど、見ぬ世は知らず、我々とし若きものたちが、目にも耳にもいまだ見聞きおよばぬ大事に候いし。時は夜は十時ごろにや、良人は役所よりの調べ物たずさえ帰りてともし火のもとに繰りかえし居り、私は其処より二間隔てし小さき部屋に子供寐かしつけ何時ぞや御送り下されし何がしの雑誌よみ居しほどに、怪しゅう海嘯のよするよう物すごき音のするのを、何ものとも存ぜずながら見かき抱き立あがりしに、良人は奥より声をかけて燈火に心づけて表に出よ、地震はすさまじきぞと申さるるに、早何事も覚えざらんぶを吹消して足袋はだしのまま庭へと飛おり、物のあやうげなき垣根際にとちたる時、其凄まじさは今も目に残りて、何とも申すに言葉なく候。少し心落つき候わば、有さま文し御覧に入るべく、此方住居は隣も近からず平屋づくりにて、屋後には竹藪など候まま中にては震いかた少なきにこれあり、壁の土を落し瓦の損じなどにて事すみ申候えど、此方つねづね日用の物かいに行く何がしの町は、潰れ家より火の出でて百戸の人家ことごとく焼うせ、顔見しれる人々の梁の下に成れるもあり、焼死せるなども少なからず、すべて思えば恐ろしき夢に御座候いし。おおせの通り小さき地震は今も猶折々これあり、日のうちに二度も三度も箸もちながら駆け出るようなこと珍らしからず、人々物おじして風の音にも胆ひやし居り候。されど最早大した事はなかるべきよう、東京より出張の学士など申され候まま、先は御安心下され度、いずれゆるゆる文さし上ぐべく、取まとまらぬ折からなれば唯事なきさま計を。かしこ。