

地震の教訓と防災

池田尚治

1. 関東大震災

大地震の恐ろしさは、何と言っても、子供の頃に母親から何度も繰返し聞かされた関東大震災のことである。明治44年生まれの母親は、当時11歳の少女であって、神奈川県の大磯に住んでいた。多感な少女時代に経験した大地震の影響は極めて大きく、今もって、地震のときには大いに神経を過敏にする。

子供の頃から聞いてきた母親の関東大震災の話をまとめると、次のようなことになる。

「住んでいた家はペチャンコにつぶれた。庭から水が吹き出して池のようになった。前に池だったところを埋めた土地だったからである。

地震で家を飛びだしたが、立っていられず、兄弟と一緒に地面をゴロゴロと転がった。地面には地割れがあちこちで見られた。

海の水が大きく引いたので、大きな津波が来ると騒がれたが、水が引いたままで海岸線が沖合いに後退した。

地震の前までは大磯の浜で海水浴をし、海中の岩場まで泳いでいたが、年々岩場が海岸から遠くなっていた。また、砂浜がだんだん狭くなってきた。しかし、地震後は岩が露出し、波打ぎわが遠くへ退いた。

東海道線は転覆し、多数の死者、行方不明者が出ていた（写真-1）。彼女の父親は、横須賀から歩いて大磯まで戻ってきた。たまたま汽車に乗り遅れたので命拾いをした。」

子供の頃に聞いたこの話は極めて強烈で、世の中で最も恐ろしいのは地震である、と恐怖心を植えつけられたのであった。

関東大震災は1923年に発生したので、1937年生まれの筆者にとっては、生まれる僅か14年前の出来事であり、子供の頃にはずっと遠い過去の話として聞いていたが、今考えてみると、意外と自分の生まれた年からそれ

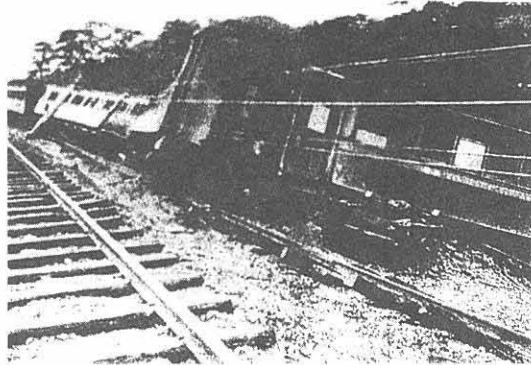


写真-1 東海道本線平塚-大磯間における旅客列車の転覆
(関東大地震震害報告による)

程遠くない出来事であることに気が付く次第である。

母親の話の内容は、その後に耐震工学や地震学で得た知識とよく符合しており、興味深い。例えば、海中の岩場が年とともに海岸から遠ざかったのは、海岸が地震前の数年で大きく沈降したのであり、また、地震後に海水が引いたままとなったのは、地震によって付近が隆起したことを見わしている。このことは、太平洋プレートのもぐり込みによる陸地の沈降と、ひずみの解放による反発で、地震時に附近が隆起することと対応している。母親の話からの教訓としては、大地震発生の数年前は地盤が相当に沈降したことであり、またこのことは、海岸線の観察で大地震の発生を予測できるのではないかということである。

関東大震災についての詳細な報告書が土木学会と内務省から刊行されているが、これを日本道路協会の図書室で見つけたのは1968年の十勝沖地震の後であった。早速これを借り出して全体を夢中で読み、興味深い箇所をコピーした。また、多くの被災写真が載せられており、震災のすさまじさを改めて認識することができた。火災

が数百メートルも幅のある隅田川を越えて飛び火したこと、神田橋などの鋼橋が焼け落ちたこと、陸軍の被服しょう跡に避難した3万人以上の人人が焼け死んだこと、同じように1万人以上の人人が避難して焼け死んだ場所が何か所もあること、など、想像もできない大災害が生じたことを知り得たのである。一方、地盤のよい所に建設された横浜の西谷浄水場は全く地震の被害を受けなかつたことが記述されており、改めて地盤の良否の差の影響を知ることができた。

この報告書は、数年前に土木学会から復刻版が出版されたので、容易に読むことができるようになった。

2. 十勝沖地震

1968年の十勝沖地震のときは、筆者は首都高速道路公団の本社に勤務していた。虎ノ門にあるオフィスビルの中で勤務中に、周期約1.2秒のゆさゆさした地震を感じ、職場の人は総立ちとなった。ちょうどその頃、我が国の超高層ビル第1号の霞ヶ関ビルが竣工して間もない頃だったので、皆で一斉に窓から霞ヶ関ビルを観察した。首都高速道路公団では地震観測を行っており、震源地から700キロも離れた地点での大地震の波形をとらえることができた。当時、筆者は、同公団の耐震研究会の主査をしていたので、早速、地震被害調査に現地へ行きたい旨の希望を出し、国内出張としては異例の8泊9日の長い出張に出掛けた。地震から約1か月後に調査に出掛けたのであるが、現地で夜寝ていると、何度も大きな余震で目が覚めた。

三沢商業高校、八戸高専、函館大学などの建物は大被害を受け、これをつぶさに観察することができた（写真



写真-2 函館大学の倒壊

-2）。興味が先に立って、倒壊しかかった建物の中に立入って破壊の様相を詳細に観察したのであるが、余震もしばしば発生していた時期であり、今から考えると恐ろしいことをしたと思っている。

北海道の浦河では、北海道開発局の出張所の木造建物に天井から吊つてあった蛍光灯が地震時に共振して天井にぶつかった傷が残っていた。この蛍光灯の固有周期は1.3秒であったので、比較的ゆっくりした周期の振動で共振したことがわかった。また函館では、函館ドックの鉄筋コンクリートビル内で、机の上の湯のみ茶わんに半分程度入っていたお茶が地震時に振動でこぼれ出したとのことであった。茶わんの直径を4cm、水面の高さを4cmとして共振する周期を計算すると約0.3秒となり、比較的短周期で共振したことがわかった。

大学で地震学の講義を聞いたとき、しきりに墓石の転倒の話が出てきたので不思議に思っていたが、このときの震害調査で、調査地点の附近を歩くと必ず墓地があつて、墓石の転倒しているのが見られたことで納得できた。墓石が転倒しているところでは地震動が激しかったことを表わしており、一方、構造物が大きな被害を受けていても、附近の墓石が転倒していなければ、構造物に欠陥がある、というようなことも何となく把握できた。

この十勝沖地震では鉄筋コンクリート建物に大きな被害が出たが、橋梁の被害は僅かであり、橋梁技術者の立場としては比較的気が楽であった。ただし、盛土区間の道路の被害は甚大であった。

3. 宮城県沖地震

1978年の宮城県沖地震では、新潟地震（1964年）や前述の十勝沖地震のときには見られなかった鉄筋コンクリート橋脚のせん断による損傷が多く見られた。土木学会のコンクリート標準示方書の許容せん断応力度の値がコンクリートの設計基準強度の増大とともに高められること、柱部の軸方向鉄筋が柱の中途で定着され、段落しされていたこと、などの理由で、顕著な斜め引張破壊が発生したのである（写真-3, 4）。実験室的には、このようなことに対して大いに危惧の念をいだいていたが、過去に被害例がなかったので問題として取り上げられなかったのである。そこで、この地震を契機としてコンクリート標準示方書のせん断および定着に関する改訂を提案し、多くの討議を経て示方書の改訂を行うことができたのである¹¹⁾。従来から定められていた許容せん断応力度をこの改訂で約2/3の値に低減したことは、実務者の間で大きな反響を呼ぶとともに、日本道路協会の道路橋示方書のコンクリート橋編や下部構造編の改訂へと波及していった。

宮城県沖地震が発生した頃は、東北新幹線が工事中で

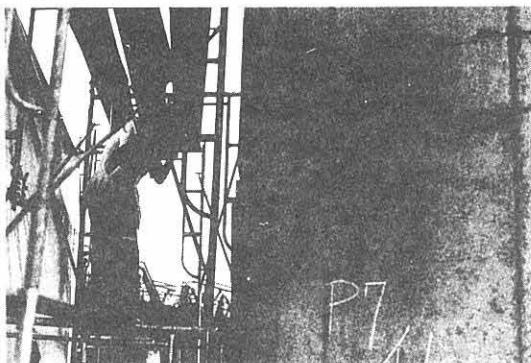


写真-3 宮城県沖地震における鉄筋段落し部に起因する橋脚の被害（人物は東京都立大学の山崎先生）

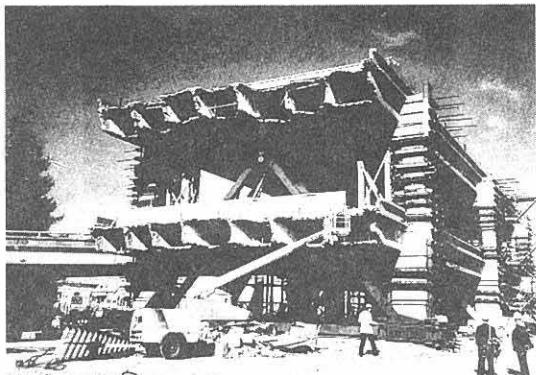


写真-5 I 880号線高架橋における水平載荷実験

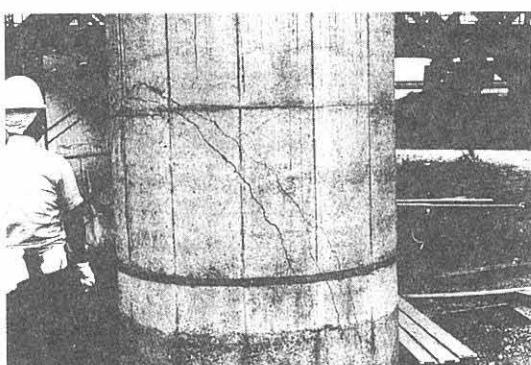


写真-4 写真-3と同じ橋脚の斜めひびわれ部分

あり、多くの鉄筋コンクリート橋脚が損傷を受けたが、結果的には、それらが補強されたことによって強靭な構造物に生まれ変わったことは幸いなことだったと考えられる。

4. ロマプリータ地震

1989年10月17日、米国サンフランシスコを中心に、大きな被害の出た地震が発生した。オークランドの二層のコンクリート高架橋が崩壊したことから、コンクリート構造物の耐震性に関し、新聞等で種々の意見が出されたが、そのほとんどが必ずしも目的を得ていないものであった。そこで、土木学会コンクリート委員会では有志5人が震害の調査を行うこととした。調査は地震から2か月以上経過した12月24日から行い、崩壊したコンクリート高架橋の延長上で崩壊を免れた二径間部分に対し、カリフォルニア大学が中心となって載荷実験を行なっていたところを見学することができた（写真-5、6）。実構造物の水平載荷実験は規模が大きく、今後の参考になるものであった。実験現場での関係者が、実験の内容や被災の状況について何ら隠すことなく我々に情報を提供してくれたのは感心した（写真-7）。また、昼

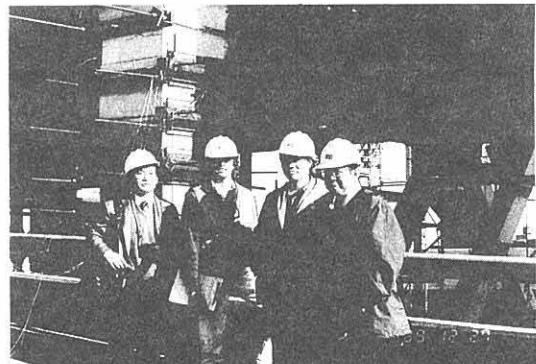


写真-6 水平載荷実験見学（左から2人目がCaltransの現地実験担当者のHans技師）



写真-7 Caltrans（カリフォルニア州道路局）の現地仮設事務所にて（左から睦好、松貝、町田、田辺の各先生）

食時に昼食もとらずに実験を継続したのには驚いた。

この調査の主眼の一つは、この地震で壊れていない構造物を見ることがであったが、我々の予想通り、我が國よりはるかに小さい設計震度で設計されているにも拘らず、大多数の構造物は健全性を保っており、被害は見られなかった。被害はやはり、地盤の悪いところ、および設計の不適切な構造物に発生したようであった（写真-

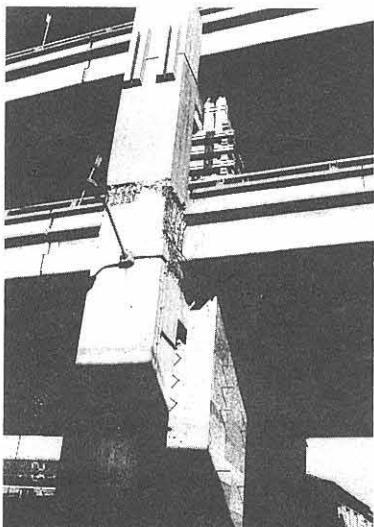


写真-8 サンフランシスコ市内エンバカデロ高架橋の耐震補強 (地震前に実施, 写真の上端部) と被災の状況



写真-9 震源地近くのアースダムの余水吐のひびわれ状況

8, 9)。

5. 耐震設計と耐震研究

土木学会のコンクリート標準示方書が限界状態設計法へ移行した改訂を行ったのは、1986年であった。この改訂に際し、示方書の中に「耐震に関する検討」が規定されることとなった。たまたま筆者がその主査となって草案を作成することとなったので、種々熟考した結果、大地震は地震地帯では必ず発生するので、単に、地震時の安全性を考えるのみならず、地震後の構造物の供用性能を確保することが必要である、との思いに至った。そこで、耐震設計の原則として「耐震設計は、地震時の安全性および地震後に要求される構造物の供用性能に基づいて行う」ことを規定したのである。このような耐震設計の考え方は、世界でも初めてのものであると思われる。

現在、筆者の研究室では、地震波の応答を準動的に載

荷するハイブリッド実験によって、上述の耐震設計の規定の妥当性の確認²⁾や、自家製の小型地震動シミュレーターによるモデル実験などを行っており、今後当分の間は、コンクリート構造物の耐震性の研究や免震の研究が大きな課題として続けられるものと思われる。また、準動的載荷実験と高画質ビデオレコーダーとの組合せによる地震時挙動のビデオシミュレーションも、今後進めて行きたいと考えている³⁾。

6. おわりに

大地震を直接経験していない筆者がこのようなテーマで執筆をする資格はないような気もしたが、幼時から聞いてきた筆者の母親の話を誌上で紹介するよい機会でもあると思い、執筆させていただくことにした。

現代社会は、大地震に対して恐らく相当に脆弱なものと思われる所以、単に構造的な耐震性のみでなく、火災や毒物の流出といった構造以外の被災要因に恐怖心をいだいているが、これらも構造的耐震性が第一に必要条件となるのであり、総合的な地震防災の必要性が益々感じられる次第である。大地震に対して未経験な筆者に、今後種々の御示唆を賜ることができれば幸いである。

〈参考文献〉

- 1) 池田尚治：無筋および鉄筋コンクリート標準示方書・設計編の一部改訂について、コンクリートライブラリー、土木学会、第46号、p. 23~32、1980.4
- 2) 池田尚治・山口隆裕・鶴沢哲史：地震動による鉄筋コンクリート柱の挙動と供用性能の評価、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 12, No. 2, pp. 119~124, 1990. 6
- 3) 池田尚治・山口隆裕：準動的載荷システムによる地震応答挙動の映像シミュレーション、土木学会第45回年次学術講演会、第5部、1990.9発表予定



いけだ・しょうじ

1937年、東京都生れ、53歳。東京大学工学部土木工学科卒業、工学博士。首都高速道路公団、東京都立大学助教授を経て、現在、横浜国立大学教授。また、プレストレストコンクリート技術協会理事、日本圧接協会会长、FIP副会長。土木学会吉田賞受賞。趣味はクラシック音楽鑑賞。(本会正会員)