

関東地震から

70年

国際防災の10年特別講演会

UJNR耐風耐震構造専門部会25周年記念



ロマ・プリエータ地震（1989年）による橋の被害

平成5年5月21日
建設省国際防災の10年推進室・土木研究所

「Copyright © (1993) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

ISSN 0386-5878

土木研究所資料

第3221号 1993年11月

国際防災の10年特別講演会

U J N R耐風耐震構造専門部会25周年記念

建設省国際防災の10年推進室
建設省土木研究所

要 旨

国際防災の10年とU J N R耐風耐震構造専門部会25周年を記念して平成5年5月21日に開催された特別講演会の講演概要を取りまとめた。

キーワード：国際防災の10年、U J N R耐風耐震構造専門部会、地震、台風、ハリケーン

国際防災の10年特別講演会

UJNR耐風耐震構造専門部会25周年記念

ページ

米国と日本における地震、ハリケーン及び台風による被害例	1
IDNDR（国際防災の10年）及びUJNR耐風耐震構造専門部会の概要	3
開会挨拶	5
 第2世紀に入った地震工学	11
久保慶三郎	
 米国における地震災害防除のための将来技術の開発動向	23
Edward O.Pfrang	
 UJNR25周年の歩みと今後の課題	33
住吉幸彦	
 ロマ・ブリエータ地震の被害と教訓	51
Richard N.Wright	
 ハリケーンアンドリュー及びヒューゴの被害と教訓	65
G.Robert Fuller	
 閉会挨拶	77

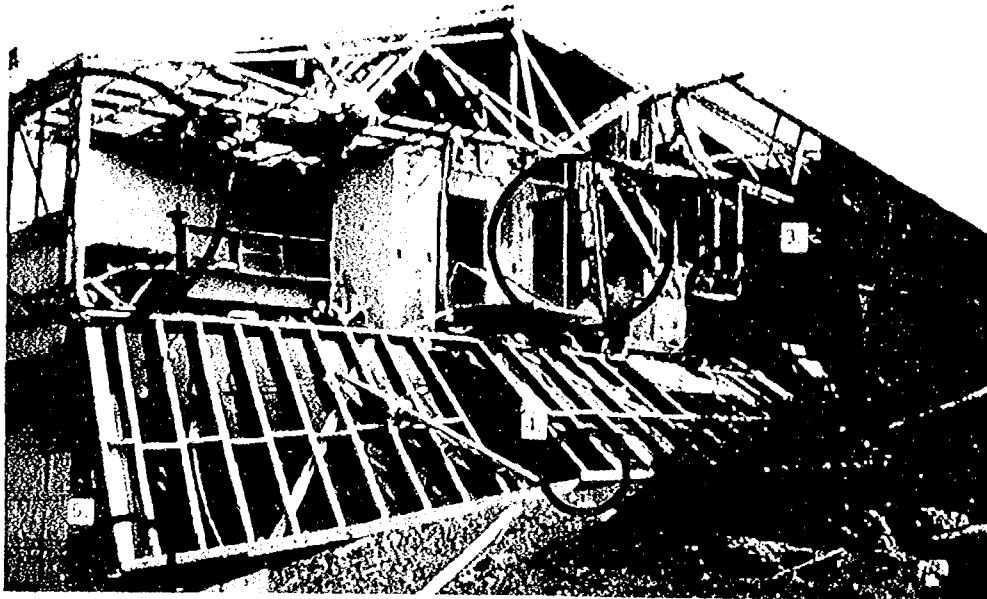
米国と日本における地震、ハリケーン及び台風による被害例



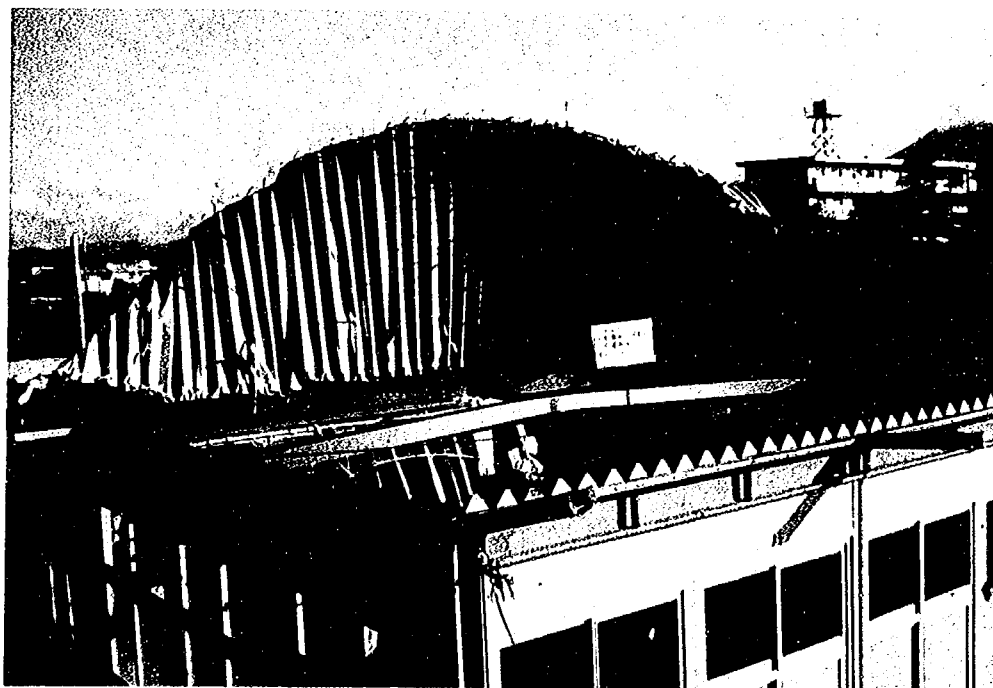
米国における地震被害の例



日本における地震被害の例



米国におけるタイフーン被害の例



日本における台風被害の例

IDNDR
(国際防災の10年)
の概要

いま、世界の国々、特に開発途上国においては、地震、暴風、洪水、高潮、津波等の自然災害により多くの人命が失われ、多大な被害が発生しています。国際連合の資料によれば、1900年代に入ってから地震、暴風雨などの自然災害により失われた人命は約400万人にものぼり、直接的被害額は900億ドルを越えるといわれています。経済社会活動の影響を考えると、実質被害はこれよりかなり大きいものと思われます。特にアジア、南・西太平洋地域での被害が多く、自然災害による死者数で世界の8割以上を占めています。

このような状況から、海外、特に開発途上国における地震などの自然災害による被害を、世界各国の国際協調活動を通じて軽減することを目的として、1990年代を「国際防災の10年」(IDNDR: International Decade for Natural Disaster Reduction, 1990年～1999年)として取り組むことが国連で決議されました。

世界のなかでも、日本は地震、火山、風水害など自然災害の多発国であり、その防災技術の高さからも、中心的な役割を果たすことが期待されています。日本政府は内閣総理大臣を本部長とする国際防災の10年の推進本部を組織しています。建設省もその業務が自然災害の軽減と深く関わっていることから、「国際防災の10年建設省推進本部」(本部長:技監)を組織し、基本方針及びこれに基づくアクションプログラムを決定し、国際交流事業を実施するなど、その推進に努めているところです。

防災を 土台に確かな 国づくり (国際防災の10年建設省スローガン)

UJNR
耐風耐震構造
専門部会
の概要

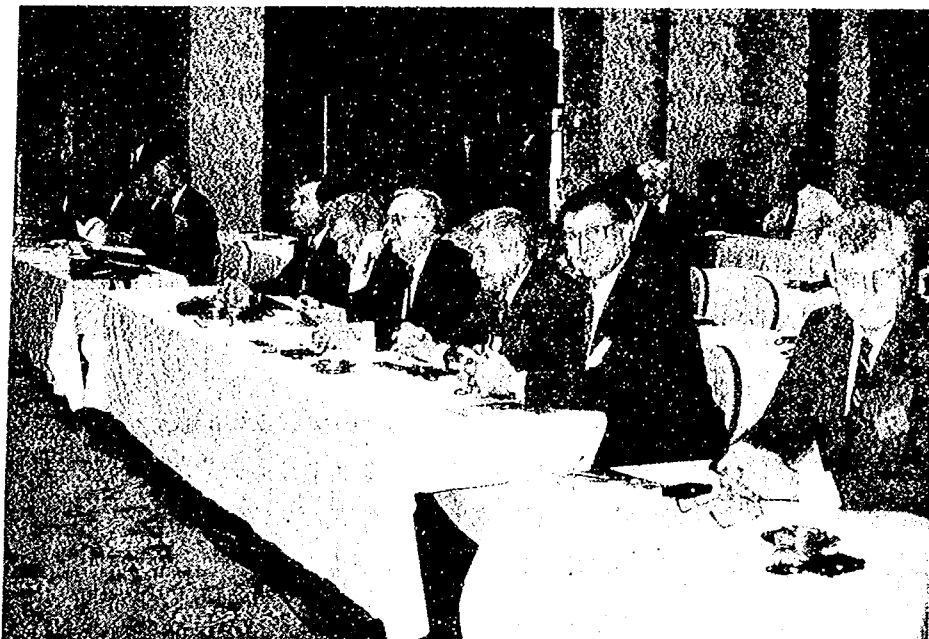
天然資源の開発利用に関する日米会議 (U.S. - Japan Conference on Development and Utilization of Natural Resources = UJNR) の耐風耐震構造専門部会は、UJNR の16の専門部会の1つとして、昭和44年より、日米両国が互いに、構造物の耐風・耐震設計法等の開発研究の成果を持ち寄り、意見を交換する機会をもつことに主眼をおいて活動してきました。

日米の双方に部会が設置されており、日本側の部会は建設省土木研究所長を部会長として、7機関33名の委員で、また米国側の部会は商務省国立標準技術研究所建築・防火研究所長を部会長とし、8機関等52名の委員で構成されています。

また、近年においては、その活動範囲を拡大し、設計基準の改訂上の問題点に関連して実施された調査研究成果の交換、さらには、強風、地震、高潮、津波により生じる災害から人命及び財産の損失を防止するための総合的対策、技術分野の開拓も目標としています。具体的には毎年1回日米両国で交互に合同部会を開催する他に、共同研究の実施、研究者の交流、ワークショップの開催などの活動を続けています。

昭和63年には20年間の活動を振り返り、「耐風耐震構造専門部会20年の歩みと将来展望」を両国でとりまとめて報告しました。また、米国国立標準技術研究所から友好の記念に「ニュートンのりんごの木」が日本側に送られました。

本年は25回めの合同部会にあたります。



開会挨拶

建設省技監 近藤 徹

本日ここに国際防災の10年特別講演会を開催するにあたり、一言ご挨拶申し上げます。

皆さんもよくご存知のことと思いますが、国際防災の10年というのは、海外、特に開発途上国における地震などの自然災害による被害を、世界各国の国際協調活動を通じて軽減することを目的として、1990年代を国際防災の10年 IDNDR として取り組むことが国連で決議されたものです。



世界の中でも日本は地震、火山、風災害など自然災害の多発国であり、その防災技術の高さからも中心的な役割を果たすことが期待されています。日本政府は、内閣総理大臣を本部

長とする国際防災の10年の推進本部を組織しています。建設省も、その業務が自然災害の軽減と深くかかわっていることから、国際防災の10年建設省推進本部を組織し、基本方針、およびこれに基づくアクションプログラムを決定し国際交流事業を実施するなど、その推進に努めているところであります。

本年は、大正12年に発生した関東大震災からちょうど70年目にあたります。関東大震災では、死者、行方不明あわせて14万人という未曾有の大被害を生じました。幸いにして関東地方では関東大震災以後、大きな地震は発生していませんが、地震は将来必ず発生するものであります。大地震に対する対策は一朝一夕にはできませんから、常日頃から十分な心構えをしておくことが重要であります。この意味では、天災は忘れた頃にやって来るようにならないようにすることが、関東大震災の貴重な教訓を生かす唯一の方法と考えられます。

本日、東京大学名誉教授の久保慶三郎先生に特別講演をお願いしておりますが、関東大震災からスタートしたわが国の耐震工学が、どの方向に向かうべきかをよくご理解いただきたいと思ひます。

また、今年は、天然資源の開発利用に関する日米会議の中に設けられている耐風耐震構造専門部会の25周年目にも当たります。この会議は、強風や地震、高潮、津波による被害の軽減技術に係わる情報を日米間で交換するために、昭和44年から毎年1回日米で交互に開催されてきた由緒ある会議で、今年は5月17日から昨日までの4日間、つくばの建設省土木研究所で開催されました。会議では、本日ご講演いただきます本部会の米側部会長であり、米国商務省国立標準技術研究所建築火災研究所長のライト博士をはじめ15人の米側委員と、日本側部会長を務める土木研究所の住吉所長をはじめとする33人の日本側委員が参加し、大変活発な研究発表や技術交流が行われたわけであります。本日ご講演いただきます米国土木学会のフランク専務理事は米国側の初代の部会長を務められた方ですし、またフラー氏はこの部会の米側委員を務められておられます。

本日の特別講演会はUJNRの耐風耐震構造専門部会の25周年と、関東大震災から70周年を記念すると同時に、国際防災の10年活動に貢献するために、耐風耐震構造専門部会と建設省国際防災の10年推進室の共催として企画したものであります。本日の講師は耐風耐震分野における日米の最高の権威者ばかりであります。

本日の講演会が今後の皆様の業務の参考になることを祈念して、私の挨拶とさせていただきます。どうもありがとうございました。

在日米国大使館参事官 Edward M. Malloy

I would like to begin by thanking organizers of this symposium to have given me an opportunity to appear here and speak to you all. I am honored to join the list of speakers with Vice Minister of Construction, Tohru Kondo.



This is quite an occasion as seventy years anniversary of the Kanto Earthquake and twenty-fifth anniversary of the founding of the Wind and Seismic Effects Panel. And it is an honor of the on-going International Decade for Natural Disaster Reduction. However, a

fact, even I had noticed, that the organizers of this symposium today went to all the trouble of getting an earthquake to take place to give our American guests some experiences.

However, I am not here to talk about science and technology, certainly not seismology and effects of engineering, effects of natural disasters on building codes. That is not my business. My business essentially is good relations between countries as it has been over the last thirty years. I am here today to say that relationship between United States and Japan is extremely strong and mutually productive despite of what you read in the newspapers on a day to day basis.

One of the problems pointed out, I think, in today's paper or yesterday's is the imbalance in the relationship, namely imbalance in trade on the assumption that one side is at fault with this situation. However, the imbalance exists in other areas too. In education, there are forty thousand Japanese in America right now in four-year universities. There are only fourteen hundred Americans in Japan.

In my own field of science and technology, we see also imbalance in relationship. However, I think much of the problem results from the lack of eagerness on the part of the American side to take advantage of the growing potential here in science and technology.

We have created a number of programs. The Japanese government is paying a good deal, shared them, and bringing American scientists, graduate students, even manufacturing engineers to Japan. And we are hoping in some ways that will mitigate the imbalance. However, it is really up to our American colleagues here and myself to stimulate the interest that the expertise in Japan requires.

In the area of wind and seismic effects, I am very happy to see that here is an area where both sides have much to contribute to each other both in terms of experiences and expertise. I would like to refer to the remarks of Dr. Frank Press who was here recently to receive the Japan prize. As you know, Dr. Press, a noted geo-scientist from MIT, was the science adviser to the President, and most recently, the president of the National Academy of Sciences. He spoke to a group of ours that we have much to learn from the Japanese both in terms of science, in terms of enforcing earthquake resistant building standards and

developing the new science of earthquake prediction.

I will not keep you any longer from your exchanges, but I would like to congratulate you once more for this fine example of maturely profitable corporation between our two countries.

Thank you.

要 約

このシンポジウムで近藤技監とともにご挨拶させて頂く機会を与えられましたことを光榮に思います。

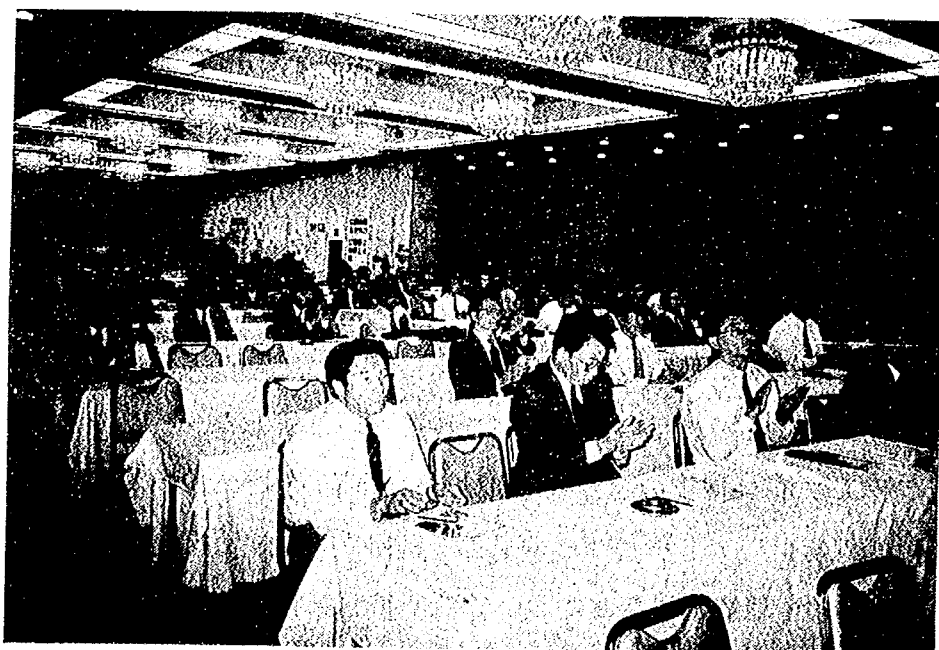
本講演会は、関東地震の70周年とUJNR耐震耐風部会の25周年を記念しており、IDNDRの活動の一環となっております。実際に地震が起こって、米国側のゲストがこれを体験できたのも、事務局の皆さんのお骨折りによるものなのかも知れません。

私は、ここ30年来の良好な日米関係を維持する業務に携わっておりますが、それは極めて強く、互いに得るものの多い関係です。最近の新聞紙上では、貿易の不均衡問題が指摘されておりますが、不均衡問題は他の分野にもあります。例えば、米国には4年生大学に4万人の日本人学生がいますが、日本にいる米国人学生は1,400人にすぎません。

科学技術の領域においても不均衡が存在しますが、進歩しつつある科学技術を利用する意欲が米国側に欠けているために、多くの問題が生じていると私は考えております。我々は、今までにいくつかのプログラムを実施しており、日本政府は、多額の負担のもとに米国の科学者、大学院生、あるいは工場技術者を日本に招いております。我々は、これが不均衡をいくらかでも緩和することを願っております。しかしながら、日本の専門家の興味を刺激できるかどうかは米国側の対応にかかっております。

耐震耐風の分野では、両国が互いに貢献しあってまいりました。ここで、最近日本賞を授与されたフランク・プレス博士の言葉を引用したいと思います。彼は、MITの著名な地球学者で、大統領の科学担当アドバイザーや最近では国立科学アカデミーの会長を務めました。が、構造物の耐震基準や地震予知などにおいて、日本から学ぶものが多いと述べております。

このような見本ともなるべき両国間の協力関係に対し、重ねてお祝いを申し上げます。ありがとうございました。



第2世紀に入った地震工学

久保 慶三郎

東京大学名誉教授、(財)震災予防協会理事長

1922年生

1945年 東京大学第二工学部卒業

1948-1963年 東京大学助教授

1963-1982年 同、教授

1982-1987年 埼玉大学教授

1987-1993年 東海大学工学部教授



大変御丁重な御紹介をいただきまして、ありがとうございます。

本日 UJNR 耐風耐震構造専門部会の 25 周年記念講演会で最初の演者として講演を行う機会を与えられましたことは、私にとりまして大変光栄であり、また、大変な喜びでございます。

今年は、地震工学の研究が始まりまして、ちょうど 101 年目になっております。また、1923 年の関東地震から 70 周年であり、また IDNDR の 4 年目でもあるわけでございます。こ

のように、地震工学も2番目の世紀を迎えたことから、「第二世紀に入った地震工学」と題しまして講演をさせていただき、現在から約100年間を振り返り地震工学の進歩及びその成果、それから今後の技術的問題等についてお話し、最後にまとめをさせていただきたいと思っております。



写真－1 公演中の久保先生

ここ100年間に世界で破壊的な地震が約80起っておりますが、これらの地震から我々は、非常に貴重な経験、貴重な教訓を得、地震工学の進歩、発展の資料としてきたわけです。この間の事情につきましては、以前カルフォルニア工科大学の教授をされていたハドソン氏が、2つの論文を書いておられます。1つは「第9回世界地震工学会議」に発表されたものと、それからもう1つは、平成3年につくばで開催されました「地震災害軽減のための国際シンポジウム」で発表された論文でございます。さらに、「第10回世界地震工学会議」で発表されましたカルフォルニア州立大学バークレー校のベルテロ先生の論文もございますので、詳しくはそれらの論文を見ていただくとよろしいかと思いますが、私はここで、日本の2つの地震を上げたいと思います。1つは1923年の関東地震でありまして、もう1つは1948年の福井地震でございます。これらの2つの地震は、地震工学の進歩に非常に大きな転機を生みまして、一般の関心が非常に広まった地震であります。

1923年の関東地震では、土木学会が調査団をつくりまして非常に立派な三巻の報告書を

作っておりますし、それから福井地震に際しましては、日本学術会議で調査団が組織されて、地震工学・土木工学・建築工学の専門家及び地震学の専門家が調査をいたしました。その後起こります地震は、だいたい土木工学・地震工学・建築工学の専門家がそれぞれ調査しておるわけでございまして、この2つは日本の地震工学の発達について、記念すべき地震であろうと思います。

それから、世界地震工学会議もまた、この地震工学の発達には大変寄与しておりまして、1956年にバークレーで第1回地震工学会議が開かれまして、それ以後4年に1回ずつ開かれております。論文数も第1回の38編から図-1に示しますように約1,000編近くまで増えております。さらに、先ほどマロイ公使が話されたように、フランクプレスさんが第8回世界地震工学会議の基調講演で、提案されましたIDNDRの活動もこの地震工学の進歩に大変役立ってきているわけでございます。

それでは、まず地震工学のスタートの話から始めたいと思います。皆さんご存じのように1868年に明治政府ができて、それまでの将軍時代の政策を変え、ヨーロッパ及びアメリカから新しい文化、新しい技術を導入いたしました。しかし、我々が導入いたしました建設技術の中には、地震工学の知識は入っておりませんでした。そこに、1891年マグニチュード8.0の濃尾地震が名古屋地方を襲うわけでございますが、この地震によりまして無筋の橋脚が倒れ、また、文明開化の象徴と言われました煉瓦造の建物が、大被害を受けたわけで

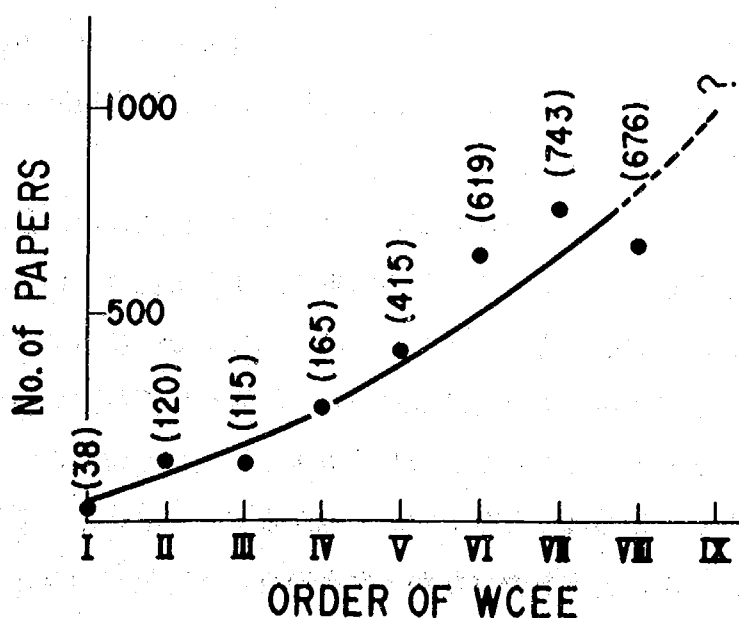


図-1 世界地震工学会議における論文数

ございます。そこで、我々の先輩はその翌年に、わが国は今まで多くの地震を受けておりますので、どうしても地震工学の研究を進めるべきだということで、震災予防調査会というものを1892年に作りました。これが、たぶん日本の地震工学あるいは世界の地震工学のスタートの年といってもまちがいないと思います。震災予防調査会は、非常に重要な調査会でございます。当時の東大の総長がこの会の会長になっておりますし、11人の委員は、地震工学・土木工学・建築工学のそれぞれの権威の方でありました。その後この震災予防調査会は大変活動するわけですが、1925年に関東地震の震害報告書を第100号の論文として出版し、その活動は終わりとなりました。しかし、その活動は、引き続いて東大の地震研が受け持つことになったわけでございます。この後につきましては、これから述べます、その後の5つの地震の教訓とともにお話したいと思います。

3番目の議題が、過去の地震に学んだ教訓ということでございます。

まず1番目は、関東地震の報告でございます。関東地震では約150ヶ所の地点で出火し、そのうち40ヶ所が延焼いたしました。東京の下町は火の海となりまして、約14万人の死者がでました。関東地震と申しますと、火災の恐怖ということで強く印象づけられた地震でございます。さらに、建物の倒壊その他ございますが、実際に建物の倒壊等で亡くなった人数は、火災による死者数の約1%ぐらいと言われております。

関東地震から教訓として学んだことは丸ビルのことでございます。丸ビルはアメリカの技術でできた非常にモダンな建物でございました。ところが、関東地震の2年前の地震で、他の建物はそれほど被害がなかったのですが、丸ビルは被害を受けたため柱と柱の接合部を鉄筋コンクリートで補強致しました。その補強によりまして、関東地震の時には丸ビルはあまり大きな被害が無かったということになっております。

さらに、その他の土木構造物といたしましては、橋梁の支承部の設計について、新しい知見を得ることができましたし、アーチ橋梁の耐震性が非常に優れていることに、我々は改めて認識させられました。橋梁の沓につきましては、それまでの技術では上部構造と下部構造を結んでなかったわけですが、それを結ばないと、地震時にそれぞれバラバラになって、沓の機能を果たせなくなるということで、新しい方法として沓を結ぶことになり、それが現在でもそのまま技術として使われております。それからアーチ橋のことですけれども、日本橋の石造アーチ橋がほとんど被害を受けなかったということに気がつきました。そのため、関東地震の後の復旧で隅田川に約10橋の橋梁が架かるわけですけれども、そのうちの7橋はアーチ型のタイプを選んでいるわけでございます。さらに、新潟の万代橋の設計が1927年

に行われているわけですが、この万代橋の設計におきましても、地震に強いアーチ橋がその橋梁のタイプとして選ばれております。後でまたお話しますが、1964年の新潟地震の時に、他の2橋は大被害を受けたのですが、この万代橋はほとんど無被害でございました(写真-2)。

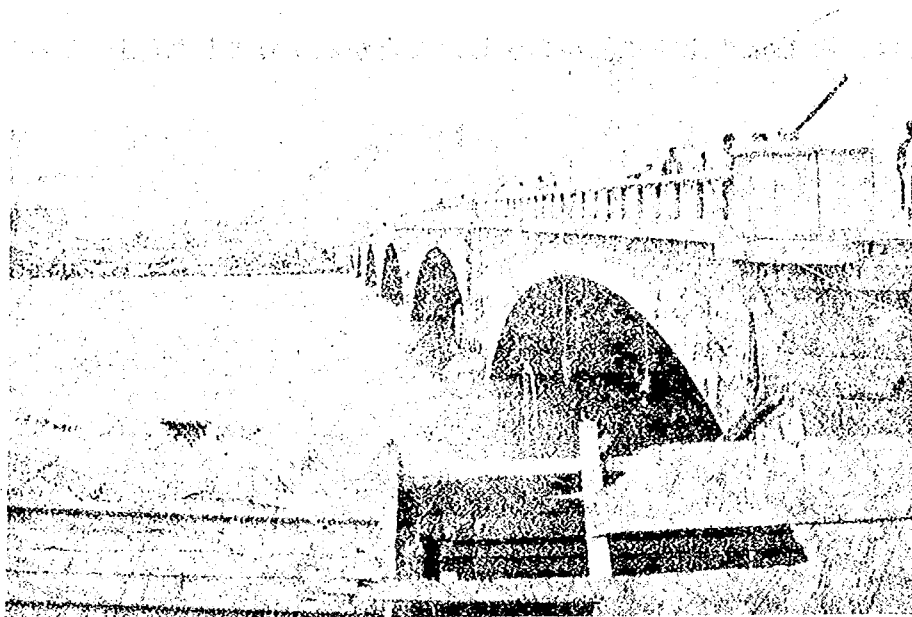


写真-2 万代橋

結局アーチ橋は強い水平力を受けますので、かなり基礎を丈夫にしなければならないということが、たぶんこの耐震性が高くなることにつながっているのではないかと思います。それから1963年に、ユーゴスラビアのスコピエというところで地震が起こりまして、煉瓦造の建物がかかなり被害を受けたのですが、約400年前にできました「カメンモスト」、これは、日本語に訳しますと「石の橋」という意味ですが、この橋もほとんど無被害で残っております。結論といたしまして、アーチ橋は非常に地震に強い構造物であるということがわかったわけであります。次は、新潟地震に移りたいと思います。

新潟地震ではご存じのように、液状化現象が起こりました。ちょうど同じ年、1964年1月にアラスカでも大きな地震が起こりまして、アンカレッジで大規模な地滑りが起こりました。

これは液状化に伴うものでございますので、ちょうど新潟地震と合わせまして、液状化のメカニズムの研究が非常に進みました。さらにその液状化対策として、サンドコンパクション

パイル、グラベルドレーン工法が有効であるというようなことがわかったわけでございます。

その後 1983 年の日本海中部地震が発生し、その時にガス管が折損いたしました。その原因調査を行いました時、これは液状化に伴い地盤が大きく変位したためではないかということで、地震前後の航空写真を用い、任意の地点についての座標を読むことにより、地震時の変位を調査する技術が用いられました。この技術を新潟地震に応用したところ変位の一番大きいところでは、約 8.8m の水平変位が発生したことがわかりました(図-2)。

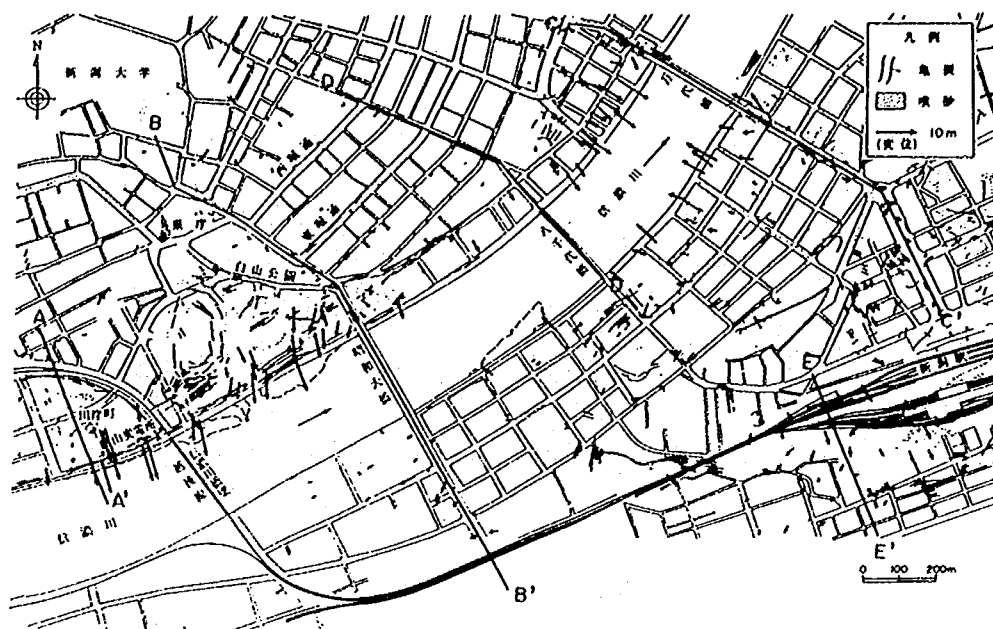


図-2 新潟地震における地盤の水平移動量

それからもう 1 つは、昭和大橋で我々が勉強したことは、橋梁の落橋防止であります。昭和大橋は、ちょうど地震の起こる 1 ヶ月前に完成したばかりの橋でしたが、新潟地震によって桁が次々と水の中に落ちてしまいました(グラビア写真参照)。これについては、まだ確たる原因が分かっておりませんが、我々が学びましたことは、橋梁を落ちないようにすることだということで、日本道路協会もその後すぐ橋梁の基準を変えました。図-3 は、その 1 つの方法で、2 つのけたをロッドでつなぐ方法でございます。それから、けたと橋脚をつなぐ方法もございまして、写真-3 は 1974 年の伊豆半島沖地震の時の震源地のすぐそばにありました、三径間連続のけた橋でございますが、橋の両端でけたと橋脚がつながっておりまして、写真-4 をご覧になると、非常に大きなテンションが起こっていることがおわかりいただけるかと思います。しかし、非常に大きなテンションが発生しているにもかかわらず、この橋はついに落ちずに済みまして、我々としては新しい経験を得ることができたわけです。

落橋防止につきましては、後で述べますロマプリエータ地震のサイプレス高架橋にも使われておりますが、残念ながらサイプレス高架橋の方は、落橋防止構造が効かなくて、皆さんご存じのような大被害を受けたわけでございます。

次は、宮城県沖地震についての報告でございます。地盤条件によって被害がかなり違うということについては、いつの地震でも気が付いているわけですが、特に宮城県沖地震でそのことに気付きました。それから特に新しい問題としては、新潟地震では、スチールのパイプはかなり耐震性が高く、石油パイプラインでは被害が無かったのですが、宮城県沖地震で、ねじ継手の鋼管が非常に大きな被害を受けました。これは、新しい経験でございます。まして、同じ被害を今年の1月の釧路沖地震でも受けております。

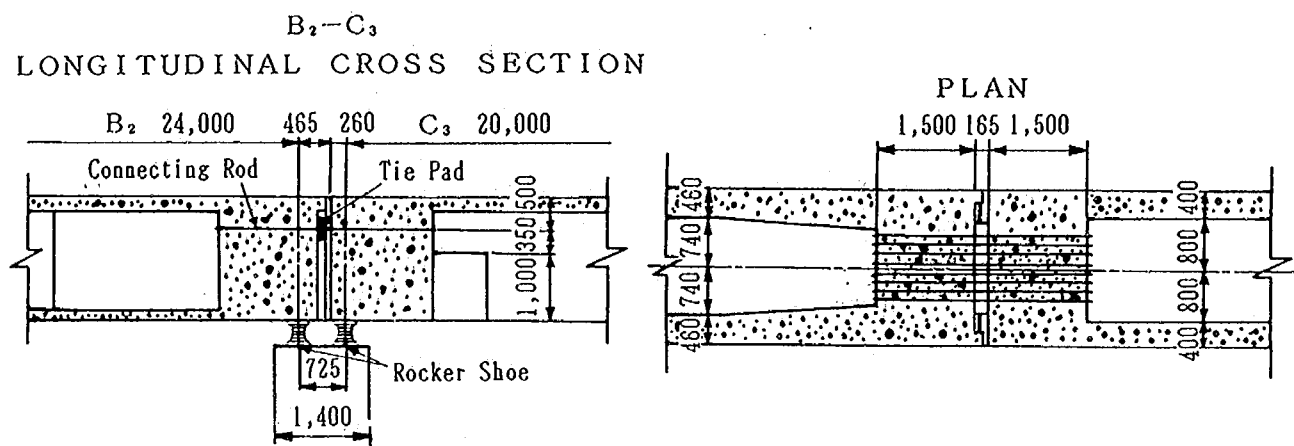


図-3 落橋防止構造の一例

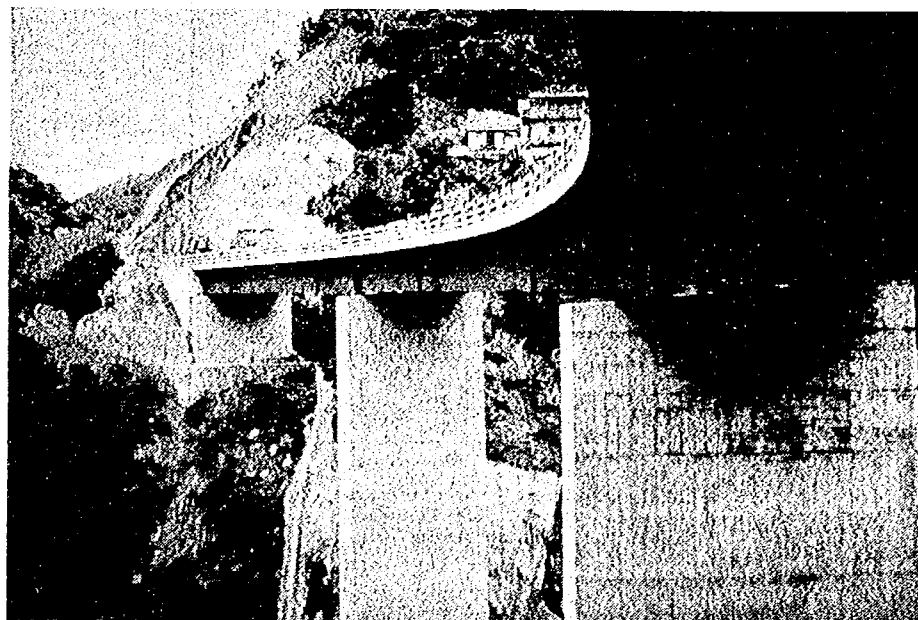


写真-3 伊豆半島沖地震、震源地直近の三径間連続けた橋

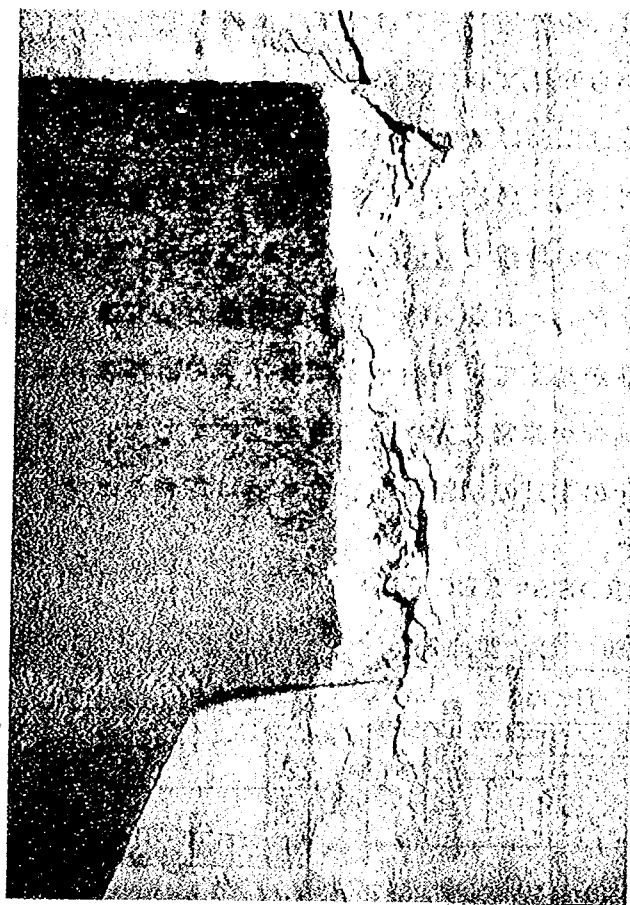


写真-4 写真-3の橋の桁と橋脚の連結部分

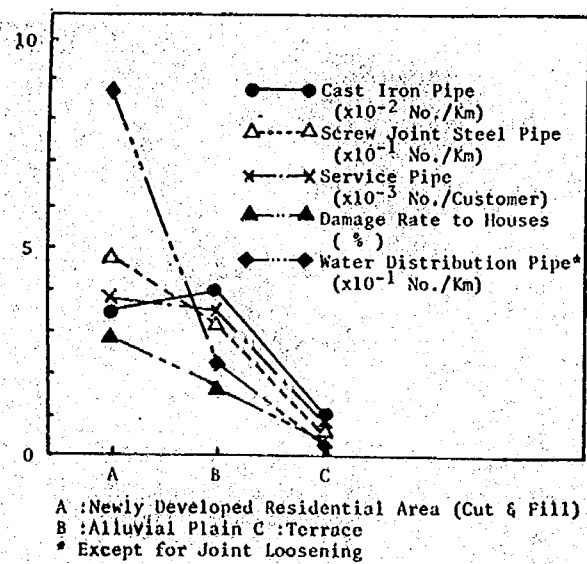


図-4 管路の被害状況

図-4の横軸のA,B,Cというのは、地域を表しておりましてCが1番いい地盤のところですよ。Bは沖積層、Aは人工的に造成された土地でございます。縦軸は箇所数でございます。ご覧いただくのは、実線で示します鑄鉄管と、それから次に点線で示しますねじ継手管でございますが、この2つのものは、単位が違っておりましてねじ継手管の方が1桁大きいわけです。従ってこの図ではほとんど同じような値になっておりますので、ねじ継手の鋼管は非常に弱いと言うことが分かります。

それでは次に、わが国の地震ではありませんけれども、サンフェルナンド地震についてお話しいたします。サンフェルナンド地震では、もちろん建物もかなり被害を受けましたし、また、高架橋も被害を受けましたが、特に、水道・ガス・電気のライフライン施設に対する重要性が、非常に認識されました。日本では、新潟地震の時に認識されましたが、アメリカでは、サンフェルナンド地震の時に非常に強く認識されまして、新しくライフライン地震工学という言葉が誕生したわけでございます。それで、アメリカの土木学会が、1974年にTechnical Council on Lifeline Earthquake Engineering(TCLEE)という委員会を作りました。日本においても日米セミナーを行いました。

結局大事なことは、こういうライフライン施設と言うのは土に埋設されている構造物でありますので、この埋設している構造物をどうやって設計するかということですが、それについては地震工学の大先輩であります岡本先生とハウスナー先生のアイディアが非常に貴重だと思います。岡本先生の方は、家屋と水道管の被害を比較して得られた論文で、ハウスナー先生の方は、BART Systemについての耐震性の検討から得られた論文で、1960年に出しております。図-5は岡本先生の図ですが、右の方が水道管の被害で、左の方が家屋に対する被害です。十文字に斜線が入っておりますのが、非常に被害が大きいところでありまして、水道管に大きな被害が起こった地域と、家屋に被害が起こった地域がずれておりまして、隅田川から東の方で家屋は被害を受けておりますが、水道管の方は、隅田川より西の方で被害を受けておる。これは要するに、水道管は家屋の設計とは別のアイディアで設計しなくてはならんということを示唆したのですが、ハウスナー先生は波長と地盤動の振幅でチェックしなさいというところを、アイディアとして出されまして、わが国では1973年の石油パイプライン事業や1982年のガス導管の耐震設計指針にそれらのアイディアが盛り込まれているわけでございます。

次にロマプリエータ地震でございますけれども、これは3つの代表的な被害が挙げられる

かと思います。これについては、州知事の諮問委員会における委員長のハウスナー先生の報告、「時間に対する闘い」"Competing Against Time"という報告書が出ておりましてそれに詳

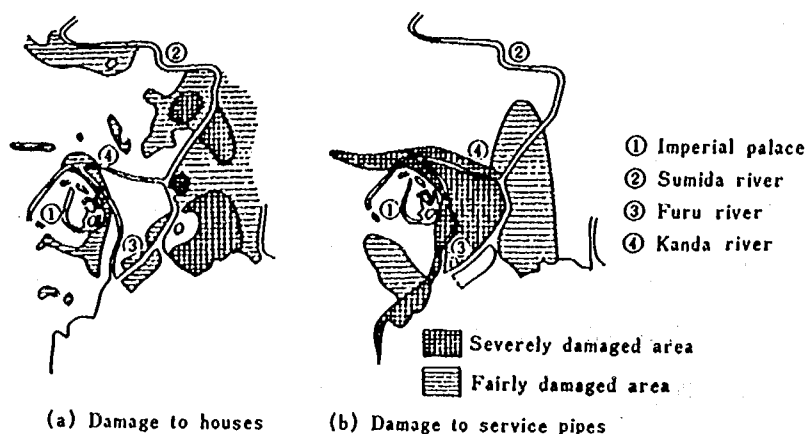


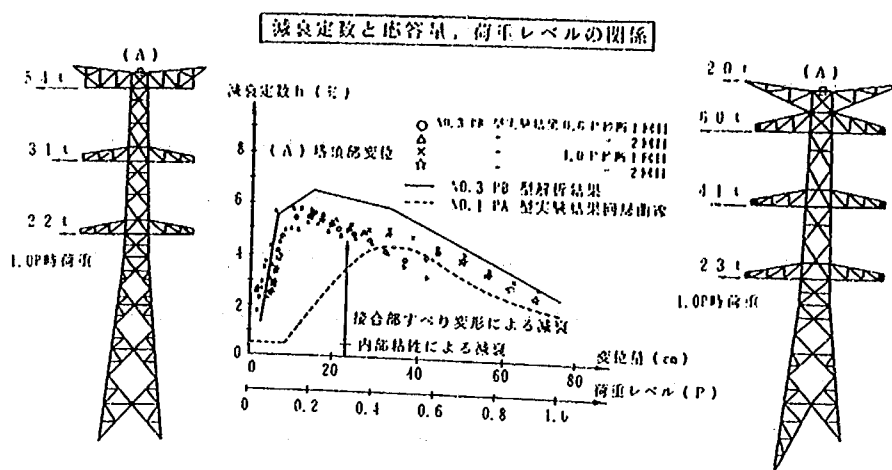
図-5 家屋のダメージと水道管の被害

細が述べられていますが、1点めは、ベイブリッジの被害で、これはアンカーボルトが切れ、さらに桁が動いて落ちたというのが原因だと思います。2点めはサイプレス高架橋の被害で、桁はつないであったのですが、全体として ductility が不足していたために被害が生じたのだと思います。それから、アメリカではサンフランシスコ地震(1906年)から始まりまして、かなり水道に対する耐震設計が進んでいるわけですが、ロマプリエータ地震では、やはり水が不足いたしまして、マリーナ地区で火災が起こったという3点が代表的な被害かと思います。

次は、これまでに得られた主なものをさっと眺めてみたいと思います。

まず、世界の耐震設計のものの考え方としましては、設計震度に地盤の影響とか、地域的な影響とかそういうものと同時に、建物の固有周期を入れて計算するようになっておりますが、基本的なアイディアとしては、先ほど申しました ductility というのが、1番大事ではないかと思います。こういうものに対して、それぞれの構造物の特性を知らなければいけないということで、模型実験、現場実験がかなり多く行われております。図-6は、その1つの例として、鉄塔の減衰定数を示したものでございます。減衰定数が縦軸で、横軸が鉄塔のト

ップの変位を表しております。変位がだんだん大きくなってきますと、減衰定数がずっと上がっていくわけですが、ある変位まで達しますと、減衰定数はだんだん下がってしまいます。これは、普通の構造物と違ひまして、普通の構造物は変位が大きくなりますと、減衰も上が



図－6 鉄塔の減衰定数と応答量、荷重レベルの関係

っていくというのが普通なのですが、ボルトで接合された鉄塔はこのような特性をもっているわけです。図中の実線は何を表しているかと申しますと、これは、ある仮定のもとにおける計算値でございます、この計算値がかなり実験と合うということが、これから分かることであります。

それから最近では、Base Isolation の問題が盛んに議論されておりますし、それがさらに進みましては "Active Control"、人為的に建物の振動をコントロールするという方法まで向かっておりまして、昨年スペインのマドリッドで行われました「第 10 回世界地震工学会議」でもそういうセッションが行われました。また、新しく International Association for Structural Control (IASC) という部会ができるような運動にまでつながっております。それからもう 1 つは、これは、Base Isolation のことですが、オートマチックにシャットダウンするシステムというのが役だつのではないかと思います。このシステムは現在、新幹線とガス関係に使われております。

また、現在の技術はどこまで進んだかと申しますと、建物の耐震性の診断は現在かなりできるようになりました。ただし、これは鉄筋コンクリートの構造物が主でありまして、地下

鉄のあるいは、地下の埋設構造物にはまだまだこの技術が足りないと思われております。それから建物の補強とか、それから復旧とかの工法につきましても、まだまだ勉強して実際に地震があったときには、早急に復旧するような技術をもたなければいけないと思います。

さらに、企業あるいは政府の防災対策、あるいは個人の防災対策、こういうものが、非常にこれから大切なのではないかと、私は考えている次第でございます。

最後に、地震につきましては、今までかなり勉強もし、またかなりの成果をあげております。しかし、まだ課題も残されています。

現在、地震予知の技術によって、人命は救えると言われておりますけれども、実際今まで、成功したのは中国におけるハイシェン地震の1例だけでございます。これは、1975年に起こりました地震ですが、70年頃から、徐々に観測を強化して、予知を進めて来たわけですが、地震の約7時間まえに地震予知いたしまして避難をさせましたおかげで、犠牲者は大変少なかったと言われております。

それから、現在の世界を眺めてみますと、建物に対する耐震工学の方が、ライフラインの耐震工学よりも、まだまだ有位にたっているということは、いなめない事実だと思います。しかしこれからは、ライフラインの重要性が増してきますので、ライフラインについての問題をやらなければいけないのではないかと思います。

世界の中で地震災害を根絶することができるのかどうかという問題が非常に大事なことでございますけれども、私は4つの原因によって、根絶することはできない、我々は地震災害を軽減することは出来ても、根絶することは出来ないのではないかと考えております。1つは、まだまだ危険な構造物がたくさん残っているということ、それから地震現象がすべて解明されたわけではないこと、それから我々のエンジニアは構造物を経済ベースにおいて設計しているということ、また、地震の経験を得ていない新しい建物が、まだたくさん残っているということであります。我々はこれから、技術のレベルを高めると同時に地震工学の研究も進め、また経済力をバックにして、世界の地震災害をなるべく少なくする、軽減するというふうに向かわなければならないのではないかと思います。

どうも、ご静聴ありがとうございました。

米国における地震災害防除のための 将来技術の開発動向

Dr. Edward O. Pfrang

米国土木学会専務理事

1929年生

1951年 Conneticut 大学卒業、

1952年 Yale 大学修了

1961-1966年 Illinois 大学博士

-1966年 Delaware 大学土木工学科

1966-1983年 米国商務省国立標準局

1968-1983年 耐風耐震構造専門部会米国側部会長

1983年 - 米国土木学会専務理事



UJNR 耐風耐震構造専門部会の 25 周年を記念して、皆さんの前でお話をさせて頂く機会を与えられましたことをたいへん光榮に存じております。部会が設置されてからはじめの 17 年間の活動に参加した者としてこの場を迎えるにあたり、我々の業績を誇りに思う気持ちには抗しがたく、また、うれしいと同時に悲しい気持ちも感じております。日本側の初代議長で私の師とも仰ぐ福岡博士のような旧友に再会できることはまことに喜ばしいことですが、一方では、初代の事務局長でその後議長になられた大久保博士のような友人たちがすでに他

界されてしまったことを心から悲しんでおります。

この部会の膨大な業績には、大きな誇りを持つことができます。当部会は、米日二国間で自然災害の影響を軽減するために、広範囲に工学と技術力を活用することを目的として設置されました。両国とも、自然災害に対する深い悲しみを極めて頻繁にわかち合ってきました。その結果として、これらの災害に対処する工学的能力は、他に並ぶ者がいないほどに高められており、自然災害の影響を軽減するうえで、この部会の活動は二カ国のみならず国際社会に本当に貢献してまいりました。



写真－１ 講演中の Pfrang 氏

本日は、災害軽減に関連する米国土木学会(American Society of Civil Engineers、以下では ASCE と称する)の役割とその活動内容について話すように依頼されておりますが、はじめに ASCE 自身について少し触れさせていただきます。

ASCE は 1852 年に設立されました。これは、米国において最も歴史が古い工学の専門家の学会です。ASCE の会員は現在 11 万人以上で、そのうち 8,000 人を越える人が全世界 130 国を代表する国際会員です。ASCE には 78 の国内支部、5 つの国際支部、11 の国際グループ、及び 246 の学生支部・クラブがあります。西半球以外にある初の国際支部は 1988 年に日本で設立されました。ASCE は土木工学に関する世界最大の組織であり、また、生み出される技術的・専門的な資料の量も群を抜いております。論文集、学会誌、基準、会議録、研究論文、及び書籍の形で毎年 65,000 ページ以上の出版がされています。学会の技術的な活動は、

広範囲に組織された 500 の技術委員会によって行われ、現在 6,700 名以上の委員が 25 の技術部及び評議会の骨組みの中で活動しています。

近年、ASCE は技術部による基準の作成を通じて多大な業績を築きあげております。次の講演者である Richard Wright 博士が現在委員長を務める構造部が強力でしたので、初期の基準作成の多くは、構造工学の分野で行われました。しかし、最近では、交通工学や環境工学などの他の多くの分野でも学会による基準の作成が行われています。後ほどご紹介するようなライフラインの耐震工学の分野においても、特別な専門技術と関心を持っております。

我々が第 11 回構造工学年次学術講演会をカリフォルニア州のアーバインで開催してからまだ 1 カ月もたっておりません。この会議のテーマは「自然災害の軽減における構造工学の先導的役割」でした。すぐれたプログラムのもとで 50 以上の発表が行われました。免震建造物とコンクリート道路橋の耐震補修に関する現場見学も行われました。全てのセッションに韓国、中国、台湾、メキシコ、そしてもちろん日本からの参加者、発表者があったことをたいへんうれしく感じております。耐震設計のセッション、及びさまざまな荷重体系のもとの構造物の挙動と応答に関するセッションは、我々の技術委員会とそのメンバーによる成果が示された実例でした。

会議における主要な話題の一つに「1992 年のハリケーン」がありました。もちろん、米国民に前例のない被害を昨年もたらしたばかりでしたので、この話題は非常に注目を集めました。その結果、今年の 12 月 1 日から 3 日までマイアミ州のフロリダで引き続き会議を開催する計画が予算化されています。この会議では、サウスカロライナ州のチャールストンを襲った 1989 年のハリケーンに関して 3 年前に開催された会議と同様に、何が生じて、何が行われ、どんな教訓が残ったのか、そして将来の被害を最小限にとどめるために何をすべきかを明らかにする予定です。

このような会議は災害毎に開かれるわけではなく、災害の発生に際だった特徴があり、新しい情報についての報告・討議が必要であると感じたときに開催されます。このような要請はないほうが望ましいのですが、残念なことに、この種の極端な事例は、大きな被害を今でももたらしています。マイアミで開かれる会議では、フロリダ州とルイジアナ州を襲ったハリケーンアンドリューと、ハワイ諸島の一部を破壊したハリケーンイニキの 2 つを扱います。3 地域のそれぞれで、特徴的な被害が生じました。関連する ASCE の 3 つの支部が、国内会議の運営に参加し、自分たちの経験をまとめて発表する予定です。会議終了後、論文集を印刷して記録を残し、他の人もこの情報を入手して活用できるようにする予定です。

皆さんの多くが、ハリケーンアンドリューがフロリダ州を襲った直後の写真を見られたことと思います。また、Fuller氏がハリケーンアンドリューの教訓について講演する予定であることも存じておりますが、私の次に述べることに関連して、ここでいくつかのスライドを見て頂きます(写真-2～4)。ハリケーンアンドリューの被害により表面化した問題の一つに、フロリダ州南部の建築基準の妥当性と、基準の達成度及び執行度がありました。フロリ



写真-2 ハリケーンアンドリューによる壊滅的な被害

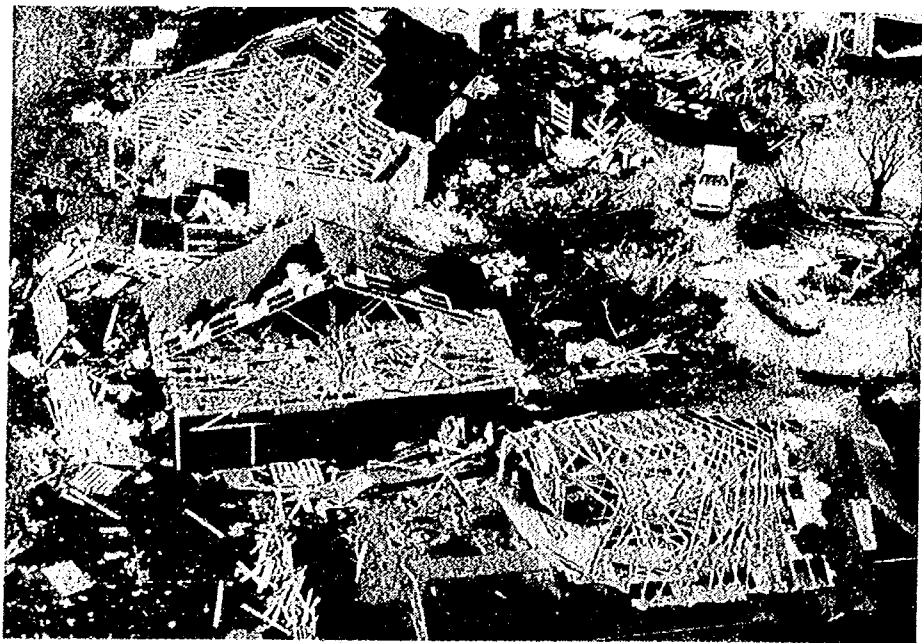


写真-3 ハリケーンアンドリューによる住家の被害



写真－４ ハリケーンアンドリューによる建築物の被害

ダ州南部の風荷重の根拠となった国内基準である ANSI/ASCE 7-88 について、多くのすばらしい意見が ASCE に寄せられています。以前は A58.1 として知られていたこの基準は、「建築物及びその他の構造物のための最大設計荷重」という名称で、最も頻繁に参照される基準の一つでした。さらに重要なのは、構造物の設計のための適切な荷重を設定するうえで、我々工学者の最大限の注意、関心、知識が、この基準に反映されていることです。

私は、地震荷重の規定を極めて近代化した ASCE-7 の改訂版が、まもなく発行されることが報告できることをうれしく思います。これらの新しい地震荷重体系は、1991 年の国家地震災害軽減計画(National Earthquake Hazards Reduction Program)の規定に基づいており、それは連邦緊急事態管理庁(U.S.Federal Emergency Management Agency、以下では FEMA と称する)との契約により、国立建築科学研究所(National Institute for Building Science)の建築物の耐震安全性協議会(Building Seismic Safety Council、以下では BSSC と称する)によって作成されました。

新しい情報や、研究成果が得られるにつれて、我々は ASCE-7 の適用範囲を拡張していきます。例えば、ASCE は構造物に対する洪水荷重に関する契約を FEMA と結びつつあります。その成果は、ASCE-7 の今後の改訂に取り込めるものと期待しております。我々はまた、構造物に対する氷荷重の影響を調査する新しい調査委員会を設立し、近いうちにそれも基準の一部となることを期待しております。

FEMA との契約のもとで BSSC 及び先端技術協議会(Advanced Technology Council、以下では

ATC と称する)とともに我々が参加している同様な計画に、既設建築物の耐震復旧に関する報告書の作成があります。これは、我々も作業に参加して、ATC がとりまとめた同様な報告書である「既設建築物の耐震復旧の社会的・経済的考察」に引き続いて行われているものです。我々はこれが、ASCE の既存基準である「既設構造物の構造条件の評価基準(ASCE 11-90)」に対応する基準になることを期待しております。同じグループは「建築外装物(屋根、壁材など)の条件評価」と題する基準の作成も行っており、これには 1989 年にカリフォルニア地方を襲ったハリケーンヒューゴとフロリダ及びルイジアナを襲ったハリケーンアンドリューで得られた知見の多くが記述されることになります。

基準 ASCE-7 で力点が置かれている部分の一つに風荷重があります。しかしながら、先にスライドで見て頂いたように、風による被害により今でも莫大な経済的損失が生じています。我々は、NIST における風工学の研究計画の立法化が現在米国議会に提案されていることを喜んでいます。信頼性のある一貫した風速モニターシステムと、極めて強い風に対する構造物の挙動に関する実物大のデータ測定が必要です。また、風荷重に対する構造物の応答を予測するモデルの妥当性を検証し、さらにすぐれたモデルを開発するために、風洞模型実験も必要です。最終的には、モデルの検討結果を実用的な建築基準の規定に取り入れることにより、研究開発が完了します。これにより、風荷重に対する構造物の減衰は、地震荷重に対して適用されているものと類似していることが明らかになるかもしれません。この分野で ASCE がほかに行っている活動として、風による被害調査と題するマニュアルの作成があり、これはほぼ完成しております。

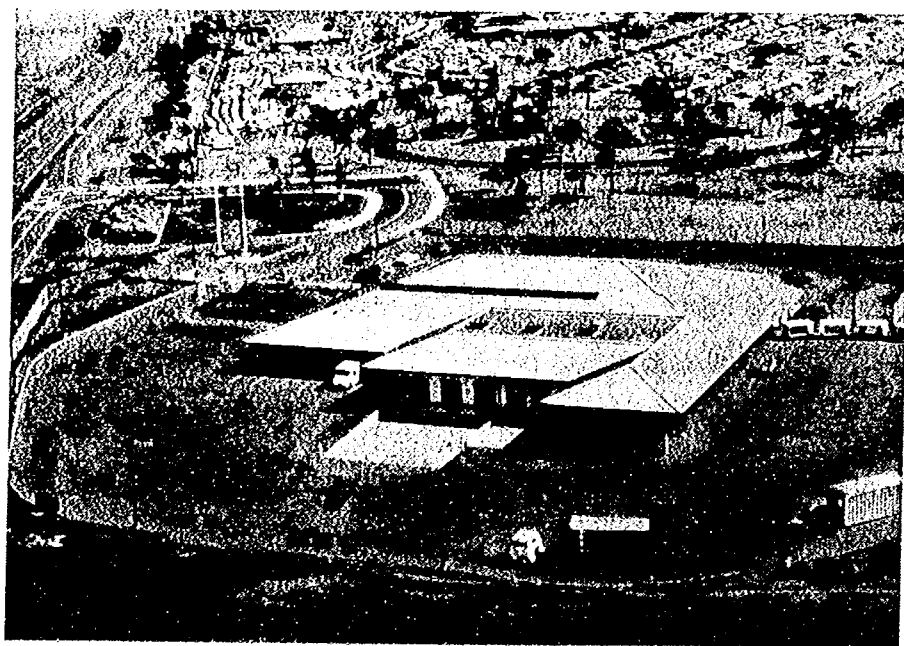


写真 - 5 耐風性の高い建築物の例

先ほど私は、構造物に対する洪水荷重について我々が実施している作業についてお話ししました。我々は、土木技術者や建築家に対して耐洪水設計・施工の現状を広く知らせ、これらの実例を洪水の発生しやすい平野部における構造物の設計と土地利用計画に反映させていきたいと考えています。各種施設や機械の保護、さらにいろいろな材料の使用が適切であるかどうかについても検討する予定です。これは、沿岸地域の管理と海岸工学の研究において実施されている作業量を増加させることになるでしょう。臨海部の資産を保全・防護するための沿岸防護構造物の設計基準の作成も始められています。その内容は広範囲にわたっており、破壊力の強い嵐だけでなく、侵食による連続的な劣化についても記述される予定です。守るべき構造物の耐用期間中の河川、湖沼、及び海洋の水位変動が、波力などの動的な力と、嵐の継続中から終了後にわたって生じる砂の移動とともに考慮されることになります。

水に関するその他の活動として、ダムの検査指針を作成しているグループの活動が挙げられます。我々の土質基礎工学部門は、800人以上の参加者を集めた斜面及び盛土の安定と挙動に関する会議と、ダムの復旧に関する会議の2つを続けて主催し、どちらも大変な盛況でした。日本では、土地利用計画による地滑り対策事業と斜面崩壊の対策技術について総合的な研究が長年にわたり行われておりますが、米国のいくつかの地域においても、同様な対策が必要とされています。

我々が活動している別な分野として、膨張性土とその上の構造物、特に住居の建設の問題があります。膨張性土に起因する住居の被害は、年間数十億ドルにのぼると推定されています。今後、ある地域においていろいろな住宅基礎を設計する場合に、種類と含水比が異なる膨張性土が及ぼす問題を最小限に抑える基準を作ることが我々の目的です。これによって人々が受ける直接的な被害は比較的小さいものの、経済的損失が大きいので、我々の設計・施工法が役立つようにしようとしています。

先ほど私は、ASCEにはライフラインの耐震性に関して特別な関心があり、また専門家もいると述べました。この話題に関して、我々は5つの研究論文を発表しています。一つめは、仮想の水系に対する地震被害の評価です。二つめは地震危険度に関する研究で、ライフラインシステムに対する地震発生度とシステムの脆弱度の解析モデルが示されています。三つめはライフライン地震工学で、ライフラインに対する地震の影響を解析して、その結果を評価した研究成果が示されています。これには、ライフライン地震工学の経緯も示されています。また、米国の中部及び東部のライフラインについて述べられており、これらが今までに大地

震を受けたことはほとんどないものの、万一地震が襲った場合には大変な被害が生じることが予想されています。四つめはライフラインの地震後の調査指針で、ライフラインの地震後の調査作業に役立つように書かれています。我々の調査グループは、ライフラインが破壊する原因を分析して、関連する公的及び民間機関を積極的に援助することを考えています。その中には、調査手順の作成、及びシステムの破壊と機能停止を防止または最小限に抑えるようなシステムの設計などが含まれています。最後の五つめとして、道路輸送システムの地震危険度解析に関する論文が現在準備中です。

最も関心を集め、実際の需要も高いのは、耐震性のあるライフラインのための基準が作成されることです。これらの基準を作成することは、ASCEの今後の主要な活動となるでしょう。我々はこの課題の必要性を大変強く感じたために、ライフラインの耐震安全性協議会(Lifeline Seismic Safety Council、以下ではLSSCと称する)の設立を提案しました。これは、皆さんがよくご存知のBSSCといくらか似た性格のものです。LSSCは、ライフライン地震工学に関する技術協議会や、構造部門、及び他の専門家団体と協力しながら、ライフラインの耐震基準・耐震計画の作成とライフラインシステムの設計、施工、補修、及び運営に関するフォーラムを準備することでしょう。

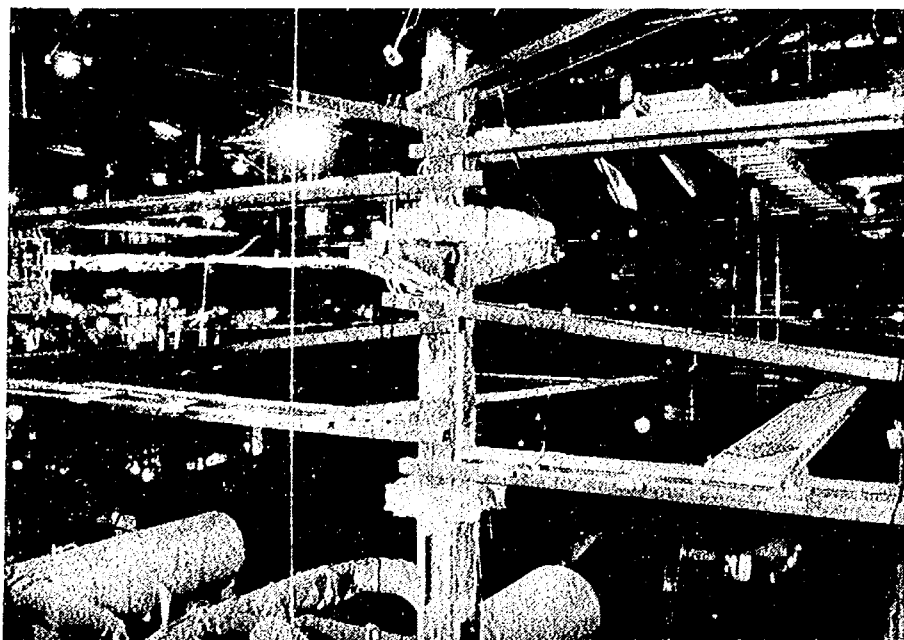
技術以外の分野で、自然災害軽減委員会(Committee on Natural disaster Reduction、以下ではCNDRと称する)の業績について少しお話しさせていただきます。これは、自然災害の危険度とそれによる被害の軽減にASCEが貢献するうえでの目的を設定し、活動を指導するために数年前に設立されました。特に、国際防災の10年への貢献活動の中心としても機能するものと位置づけています。これは、いくつかの学問分野にまたがっており、その指導者は土木工学における主要な被害分野である地震、地滑り、洪水、及び風部門の代表者です。彼らが実施している重要な作業は、今後自然災害が生じたときにその対応作業に参加することのできるASCEのメンバーのデータベースを、作成することです。既往の緊急対応時には、我々のスタッフがASCEの有識者による特別グループを作り、報道からの質問事項に対応したり、地方自治体の要請に答えたりすることがよく行われてきました。自然災害に対してもしばしばこの方法が実施され、有効に活用されてきました。CNDRの作業によって、資格を有する専門技術者にすぐに連絡できるようになります。我々は、この作業が完了するのを楽しみにしております。

ASCEが取り組んでいる災害の全てが、自然が原因となっている訳ではありません。これから、人が引き起こした災害に対してASCEが行なおうとしていることについて少しお話し

させていただきます。まず、ニューヨーク市の世界貿易センターの爆破事件のスライドを見て頂きます(写真－6, 7)。私事ではありますが、私の息子の勤務先も世界貿易センターにあり、爆破のあった駐車場の1ブロック先に車をとめておりましたが、幸い被害には巻き込まれませんでした。この10月に、テキサス州ダラスで開かれる我々の年次総会において、この爆



写真－6 世界貿易センターで爆破事件の生じた駐車場の状況



写真－7 世界貿易センターの爆破事件による構造部材の被害

破事件に関する発表が多数のセッションで行われる予定です。ASCEの会員である Gene Fasullo は、世界貿易センターを所有しているニューヨーク州及びニュージャージー州の港湾局の主任技師ですが、爆発によってエレベーターの中に閉じ込められ、鍵を使って脱出しました。彼がそのエピソードを語り、続いて世界貿易センターを設計した構造技術者である Leslie Robertson が、ビルの被害と必要な補修について話す予定です。さらに、衝撃・振動効果に関する構造委員会のメンバーが加わって発表を行う予定です。当委員会は身体的安全性確保のための構造設計と題する報告書の原稿を今年度後半にとりまとめることになっています。皆さんも是非、10月にテキサスへいらして、この話題や他の優れたセッションをお聞きになってください。

私は、このような重要な分野における ASCE の計画と成果を報告し、災害の軽減に関する我々の現在及び将来の活動についていくつか知って頂く機会を与えられたことを大変うれしく思います。

終わりにあたり、皆さんがこのような 25 周年記念講演会を開催されたことについてお祝いを述べさせていただきます。UJNR 耐風耐震構造専門部会によって結ばれてきた技術協力の強い絆は、我々二カ国の国民の苦痛を軽減し、世界人類の福祉を向上するうえで大変役だってきました。皆さんが次の 25 周年を無事迎えられることを祈っております。

UJNR25年の歩みと今後の展望

住吉幸彦

建設省土木研究所所長

1939年生

1962年 北海道大学工学部卒業

1977-1979年 建設省四国地方建設局

土佐国道工事事務所長

1986-1987年 建設省道路局国道第一課

道路保全対策官

1987-1989年 建設省建設経済局国際課長

1989-1991年 同、技術調査官

1991-1992年 建設省土木研究所次長

1992年 - 同、所長

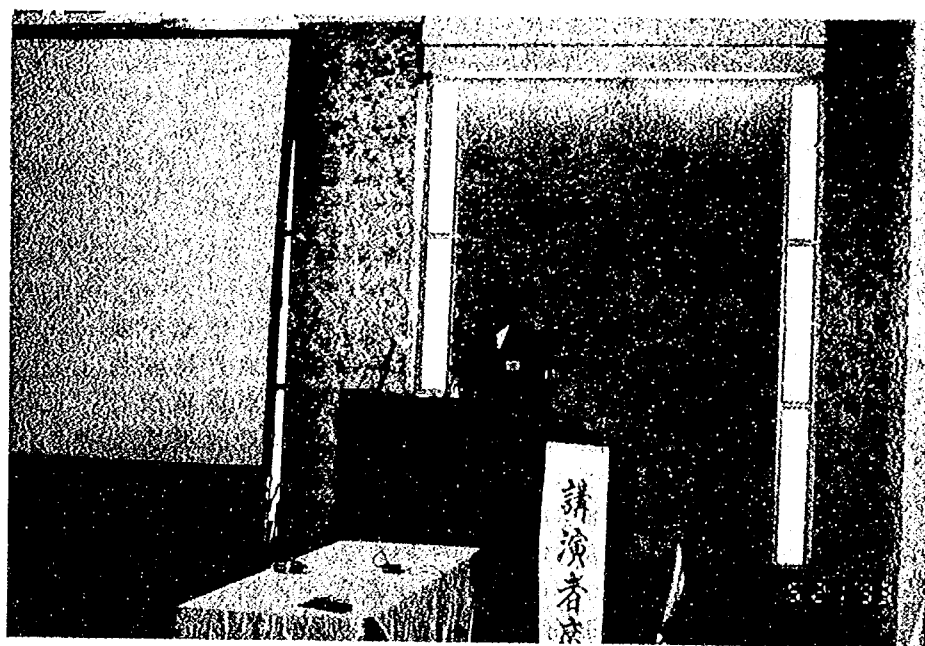
1992年 - 耐風耐震構造専門部会日本側部会長



皆様におかれましては、本日は大変お忙しい中を、多数お集まりいただきましてどうもありがとうございます。この席で、UJNRの耐風耐震部会の25周年をふり返りますことは、私の非常に喜びとするところであります。

天然資源の開発利用に関する日米会議、耐風耐震構造専門部会は、昭和44年に第1回の合同部会が開催されてから、今年で25回という記念すべき日を迎えることになりました。これを記念いたしまして、本日は、UJNR耐風耐震構造専門部会の現在までの25年間

の歩みと今後の展望と題しまして本専門部会活動の概要を紹介させていただきます。



写真－１ 講演中の住吉土木研究所長

天然資源の開発利用に関する日米会議は、英語では、「U.S.-Japan Conference on Development and Utilization of Natural Resources」といいます。頭文字をとりまして通称 UJNR と呼んでいるわけでございます。これは、1964年に東京で開催されました第3回日米貿易経済合同委員会第1回全体会議の席上で提案がありまして、日米科学技術委員会及び日米貿易経済合同委員会のいずれにも属さない会議として発足したものです。UJNRの目標は、世界の天然資源の有効利用と保全及び人類の居住環境の解決のために、日米両国が互いの協力を通じまして、可能な限り学びとることにあります。

UJNRは、本会議、ならびに16の専門部会から成り立っています。本会議は、両国の担当行政部局の最高責任者が会合するものでありまして、適宜、東京またはワシントンで交互に開催されています。日本側の事務局は科学技術庁に置かれています。16の専門部会の1つが耐風耐震構造専門部会でありまして、日本の事務局は土木研究所に置かれています。また、16の専門部会の中には耐風耐震構造専門部会と関連が深い会議といたしまして、防火専門部会、地震予知技術専門部会があります。

耐風耐震構造専門部会は、昭和42年の第3回UJNR本会議の席上で新しい協力活動とし

て取り上げられたものであります。このプログラムは、日米両国が互いに地震、強風、高潮、津波等の被害国である現状に鑑みまして、従来両国政府の研究機関で、別々に行われてきた土木及び建築の耐風耐震設計法等の研究開発の成果を持ち寄り、意見を交換することに主眼が置かれています。その後、活動範囲は順次拡大されまして、設計基準の改正等に関する調査研究成果の交換、さらには、研究者の交流、共同研究の実施、ワークショップの開催などの活動を行っています。

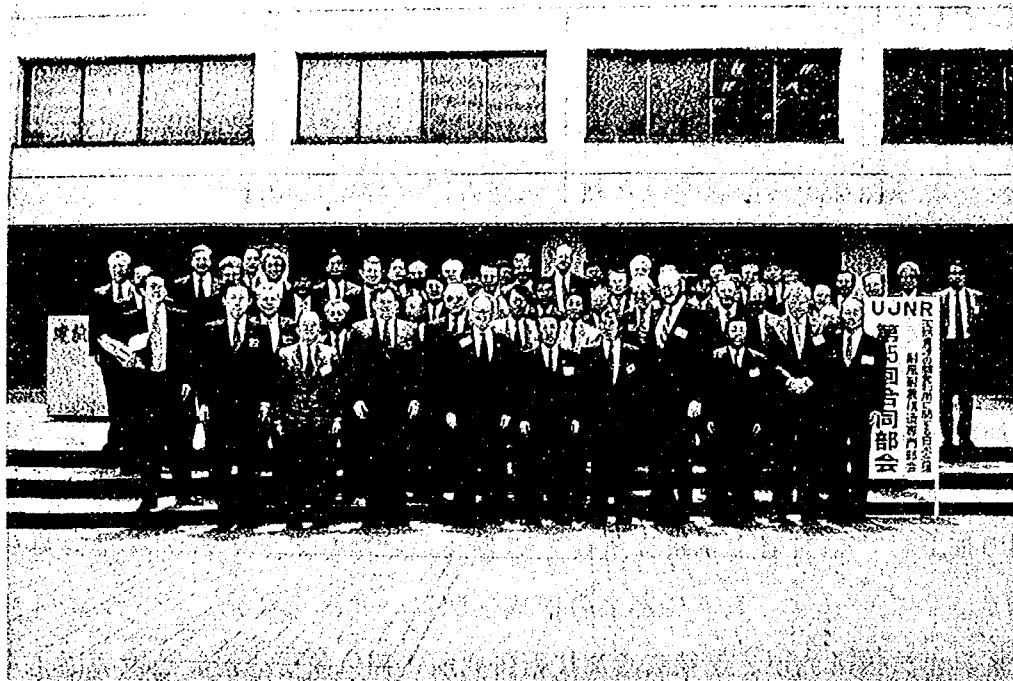
耐風耐震構造専門部会には、米国側及び日本側にそれぞれ部会が設置されています。米国側の部会は、本日これから御講演いただく商務省国立標準技術研究所、これは NIST と申しますけれども、そこの建築・防火技術研究所所長の R. N. Wright 博士を部会長といたしまして、アメリカ側合計 17 機関から選出されました 52 名の委員で構成されています。17 の機関の中には、商務省国立標準技術研究所の他、運輸省連邦道路庁、内務省地質調査所、開拓局、住宅都市開発省、エネルギー省、国立科学財団、連邦緊急事態管理局、陸軍省工兵隊など米国側の総合的な官庁がみな入っているわけであります。

日本側の部会は、建設省土木研究所長を部会長といたしまして、7 研究機関からの委員 33 名で構成されています。日本側部会の構成機関は、北海道開発局開発土木研究所、科学技術庁防災科学技術研究所、運輸省港湾技術研究所、同気象研究所、建設省国土地理院、同土木研究所、同建築研究所です。

米国側部会と日本側部会が集まって会議をすることを合同部会と申しております。合同部会は、昭和 44 年 4 月に東京で第 1 回が開催されましてから現在まで日米交互に毎年 5 月に開催されてまいりました。昨年 5 月には米国メリーランド州ゲイザーズバーグで第 24 回合同部会を開催いたしまして、今回は日本で記念すべき 25 回目の合同部会を迎えたものであります。今年の合同部会は、今週の 17 日から昨日までの 4 日間、つくば市にあります建設省土木研究所で開催されました。米国側からは Wright 部会長を始め、合計 16 人の委員が参加されました。日本側からは合計約 50 名が参加しました。また、明日から 5 月 28 日までは、我が国の耐風、耐震、高潮・津波等の諸対策がどのように実施されているかを現場で確認するため、四国、岡山、名古屋、東京地区で、宮が瀬ダムをはじめ、四国の寒風山トンネル、本州四国連絡橋、みなと未来 21 あるいは自動施工ビル建設現場、それから横浜地区の大型共同溝、鶴見航路橋、東京湾横断道路など、土木、建築両分野にまたがる各種の建設プロジェクトを見ていただくこととしています。写真-2 は、第 25 回合同部会の参加者を土木研

究所の本館前で記念撮影したものです。先程ご挨拶いただきました米国大使館の Malloy 公使や近藤徹建設省技監等からご挨拶をいただきました。

耐風耐震構造専門部会の活動をより緊密に行うために、合同部会の下に合計 11 の作業部会が設けられています。作業部会では、それぞれの分野ごとに、よりきめ細かい情報交換を行うとともに、ワークショップと呼ぶ特定分野の研究集会を開催しています。ワークショップ



写真－2 第25回合同部会参加者による記念撮影



写真－3 日本側で刊行された合同部会の論文集の一例

プには、政府系研究機関のみならず、大学、公団、民間会社等からの専門家にもご参加いただいております。

現在までの25年間にわたる耐風耐震構造専門部会の主要な成果を御紹介いたしたいと思っています。先ほど申し上げましたように、合同部会は現在までに25回開催しました。また、作業部会が主催したり、関係したワークショップの開催は合計33回にも及びます。合同部会やワークショップで交換されました技術論文は、両国併せて1,400編以上、本部会を通じて行われた研究者・技術者の交流も200人に及んでいます。合同部会で発表された論文や作業部会の活動方針等は、会議録といたしまして、毎年日米両国でとりまとめられ、刊行されて参りました。写真－3は、日本側で刊行された合同部会の論文集の例を示したものです。

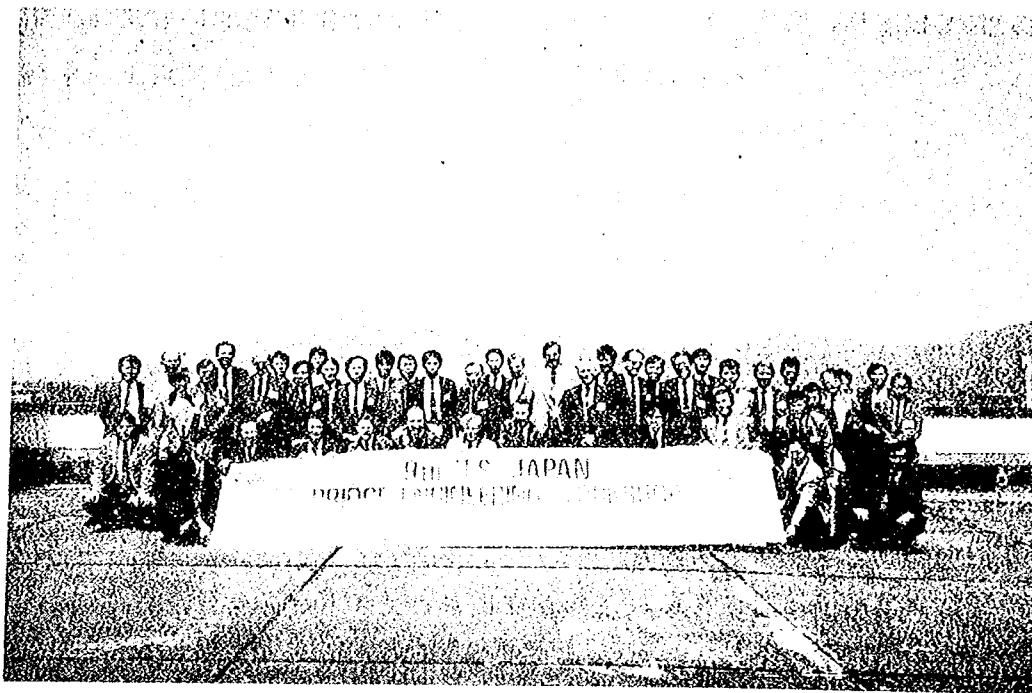
次に、作業部会主催のワークショップとしてはどのようなものがあるかを、過去2年間で御紹介しますと、橋梁ワークショップ、ライフライン施設の耐震性に関するワークショップ、橋梁の免震設計に関するワークショップ、プレキャスト耐震構造に関するワークショップなど、合計7回のワークショップが開催されています。ワークショップでは、論文発表や討議を通じまして、日米両国の最新の技術情報が交換されており、非常に活発に活動していることがわかりいただけると思います。

さらに、今回行いました第25回合同部会の前の週にも、第9回橋梁ワークショップ、第1回海洋施設の耐風耐震技術に関するワークショップ、第1回高性能・高品質材料と土木及び建築に関するワークショップと3つのワークショップが開催されました。

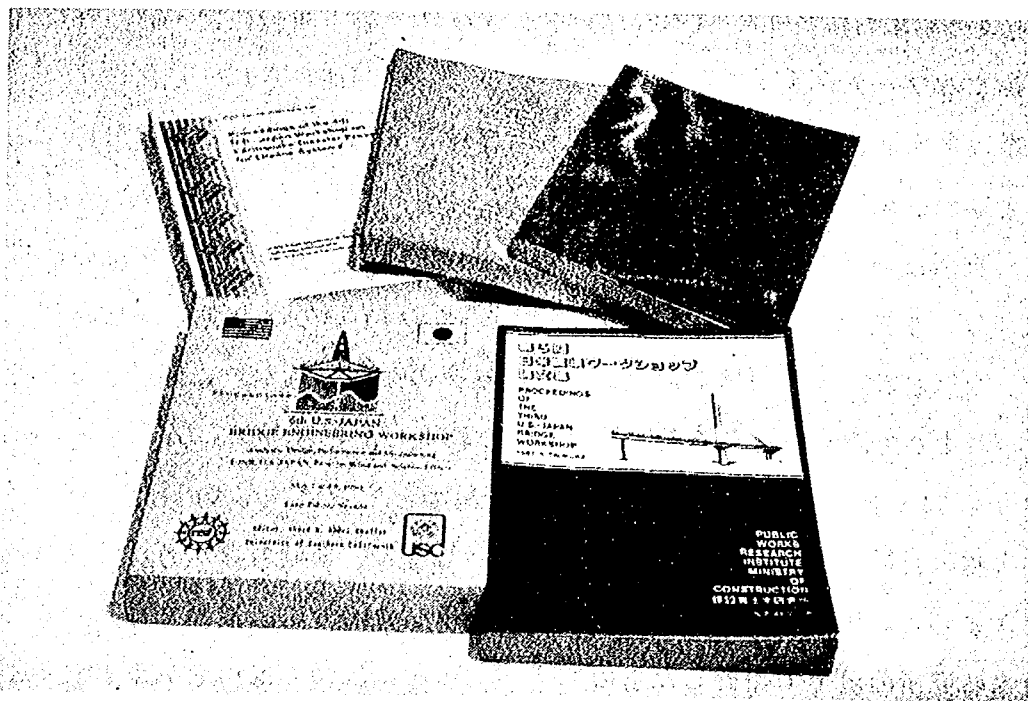
一例を挙げますと、第9回橋梁ワークショップは、先週の月曜日、火曜日に土木研究所で開催されました。米国からは、連邦道路庁のCooper作業部会長をはじめ合計14名が、日本側は土木研究所藤原構造橋梁部長を始めとする約50名が参加して大変盛況裡に行われました。会議では、米国から14編、日本から17編、合計31編の論文発表が行われ、長大橋の耐風設計、耐震設計、上下部構造の設計、既設橋梁の耐震補強などに関し、それぞれセッションに分かれまして活発な論文発表と討議が行われました。さらに、ワークショップ後には、5月12日から14日にかけては、明石海峡大橋を始めとする橋梁現場の視察が行われました。明石海峡大橋の見学では、主塔頂部にも登っていただき、米側の参加者からは多数のご質問をいただきました。第9回橋梁ワークショップのみなさんの記念撮影を写真－4にご紹介します。土木研究所の屋上で撮影したのですが、後ろにはつくば山も見えております。ワークショップを開催した場合には、その後にワークショップをホストした側から論文集が刊行

されています。たとえば、写真－5は、今ご紹介した橋梁ワークショップのこれまでの論文集を示したものであります。

UJNR 耐風耐震構造専門部会の主要な成果の1つとしまして、地震被害やハリケーン被害に対する調査協力があげられます。米側が日本の被害調査をする場合には、日本側が協力し、



写真－4 第9回橋梁ワークショップ参加者



写真－5 橋梁ワークショップの論文集



写真－6 ロマプリエータ地震によるダブルデッキ高架橋の被害



写真－7 耐震補強を行っている被災高架橋

反対に日本側が米国の被害を調査する場合には米国側が協力するものです。現在までに、昭和53年の伊豆大島近海地震、宮城県沖地震、昭和58年の日本海中部地震、平成元年のロマプリエータ地震、昨年のハリケーンアンドリューによる被害調査が本部会活動の協力の下に行われています。

一例をご紹介しますと、平成元年10月に米国サンフランシスコ市近くで起こりましたロマプリエータ地震があります。ロマプリエータ地震は、都市部を襲った地震として我が国でも大きく報道されました。我が国からは、本部会委員を含む日本政府調査団が本日ご列席のローファスト米側事務局長を始めとする米国側委員の多大な協力を得て非常にスムーズに被害調査を行うことができました。写真-6は、ロマプリエータ地震で崩壊しましたオークランド市内のダブルデッキの被害です。また、こうした被害調査は、地震やハリケーンの直後だけではなく、合同部会後のスタディツアーの中でも行われてきました。たとえば、写真-7は、昨年5月に米国で開催されました第24回合同部会の後にサンフランシスコ市を訪問し、ロマプリエータ地震で被害を受けたダブルデッキ橋の耐震補強を見学させていただいた際の写真です。現在、カリフォルニア州では、大変精力的に各地で橋や建物の耐震補強が行われています。

技術情報の交換の1つとしまして、日米両国の技術開発成果を有効に活用するために、技術開発成果の翻訳や出版が行われてきています。例えば、建設省が、本日、ご講演いただきました久保慶三郎東大名誉教授等のご指導を得ながら、総合技術開発プロジェクト「震災構造物の復旧技術の開発」の中でまとめました「土木構造物の震災復旧技術マニュアル(案)」が、本部会活動の一環としましてニューヨーク州立大学の国立地震工学研究センターにより英訳されました。この英語版は、米国のみならず、地震被害の発生いたします世界各国で広く役立てられています。写真-8の左側がもともと建設省がまとめた日本語版であります。

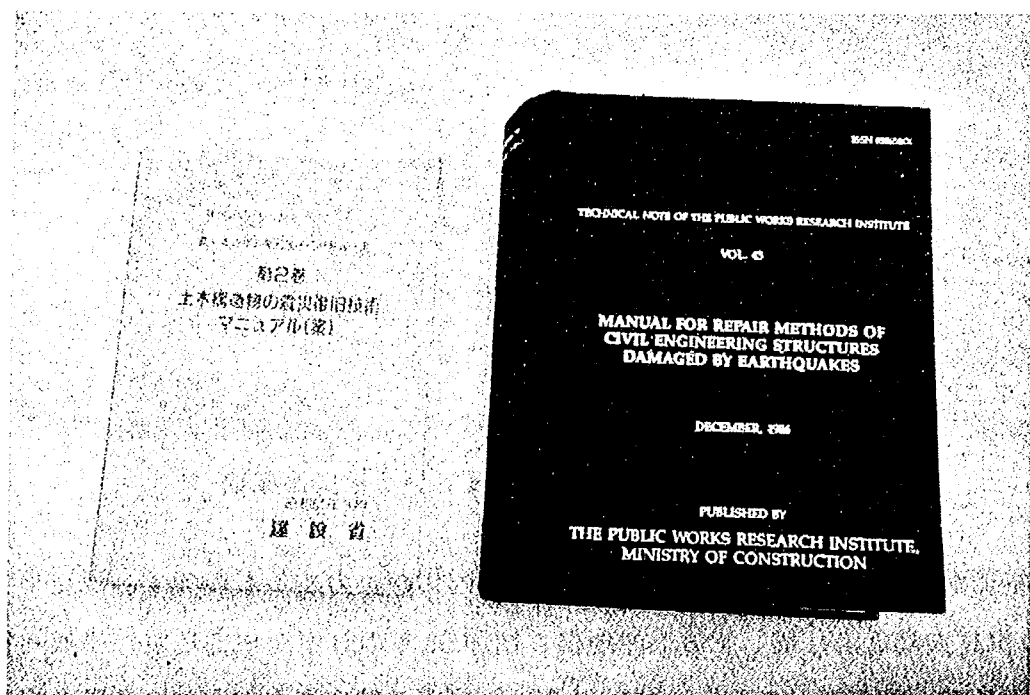


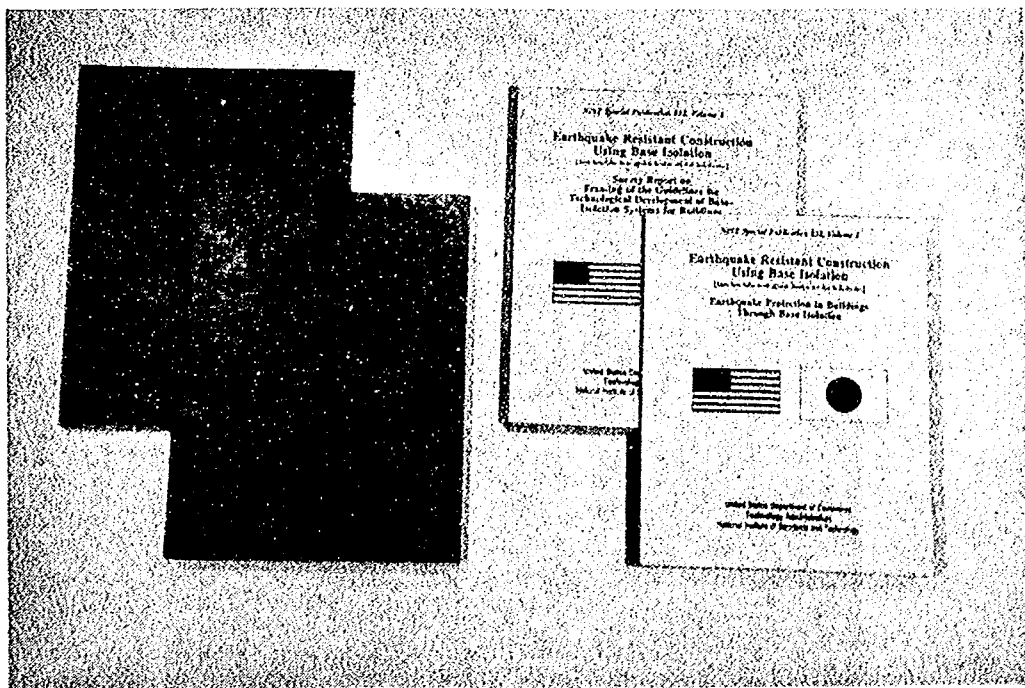
写真-8 土木構造物の震災復旧技術マニュアル(案)の日本語原版と英訳版

これを英語に翻訳したものが右側です。英文版は、A4版で941頁と大変部厚い立派な報告書になっています。

また、1987年に建設省住宅局、建築研究所ならびに日本建築センターがとりまとめた新建築構造技術研究委員会の報告書、これは免震及び制震技術に関する現状ならびに将来性を分析したのですが、これも本部会活動の一環としまして、本日ご列席のローファスト事務局長の多大なご尽力によって英訳され、米国商務省国立標準技術研究所から出版されています。写真－9の左側がもともとの日本語版で、右側が英語に翻訳されたものです。

本部会を通して日米共同研究も積極的に行なわれてきています。現在まで、7層実大鉄筋コンクリート造建物の耐震性、6層鉄骨造建物の耐震性、組積造(そせきぞう)建物の耐震性、地盤の現地試験法、橋脚の動的耐力、橋のハイブリッドコントロールの6課題に関して共同研究が行なわれたり、また、継続されたりしています。

このうち、いくつか例を御紹介いたしますと、まず、鉄筋コンクリートの7層の実大建物の載荷実験であります。日本側は建築研究所が中心となっていって行ったものです。鉄筋コンクリート造建物の破壊メカニズムを実大スケールで検証することが目的でありました。写真－10は、つくば市の建設省建築研究所実大構造物実験棟内に造られた実大7層建物試験体を示したものです。疑似動的加力法という方法によりまして水平方向に地震力を加え、鉄筋コンクリート建物がどのように抵抗し、破壊していくかを調査したものであります。地震力は建



写真－9 新建築構造技術研究委員会報告書の日本語原版と英訳版

物がほぼ崩壊状態となるまで加えられました。

また、鉄筋コンクリート橋脚の動的耐力に関する共同研究も行われました。米国では、1971年にサンフェルナンド地震により鉄筋コンクリート橋脚の崩壊により多数の橋が落橋するという大きな被害を受けました。また、我国でも地震のたびごとに多数の鉄筋コンクリート橋脚に被害を受けております。両国にとって共通した課題である大きな地震力を受けた場合の鉄筋コンクリート橋脚の耐震設計法の開発を図ることが目的でした。

米国側では国立標準技術研究所が担当して実大橋脚の載荷実験を、日本側は土木研究所が担当しまして中型模型を用いた高速載荷実験を行いました。写真-11は、米国の国立標準技術研究所で行われた実大実験を示したものです。橋脚の高さは9m、直径は1.5mという大きな円形断面橋脚模型であります。実験には、同研究所にある5,000トンの圧縮荷重を載荷できる世界最大の試験機が用いられました。これは、本日、ご列席のLew博士らのグループによって行われたものであります。

これに対しまして、土木研究所では、中型の模型を用いた高速載荷実験が行われました。写真-12の手前に見えます黒い試験機が動的加振機で、これによりまして地震力に相当する

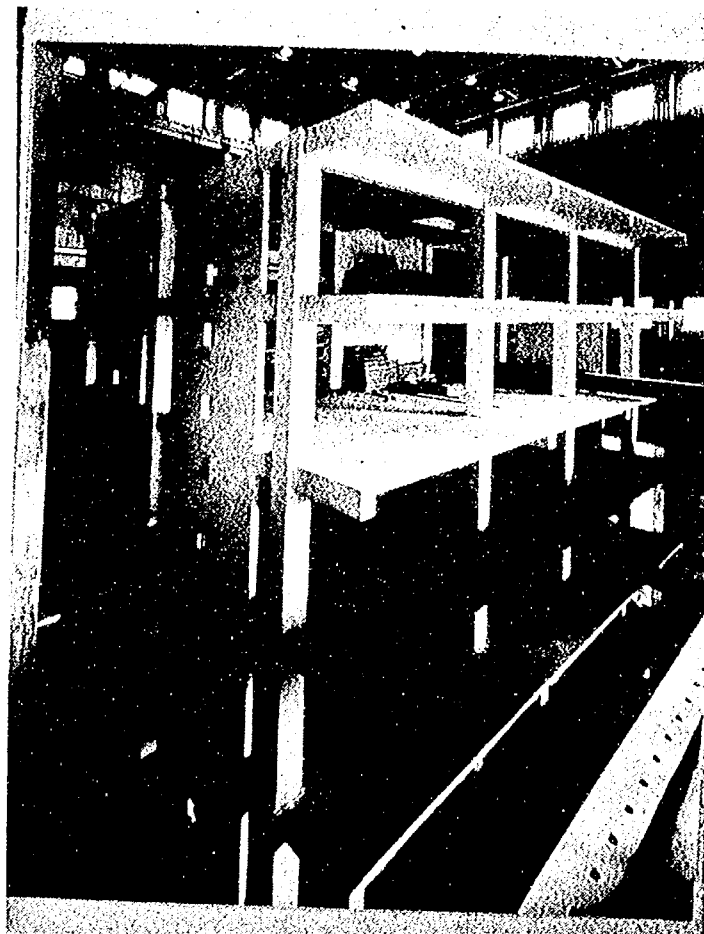


写真-10 実大7層RC建物の載荷実験(建築研究所)

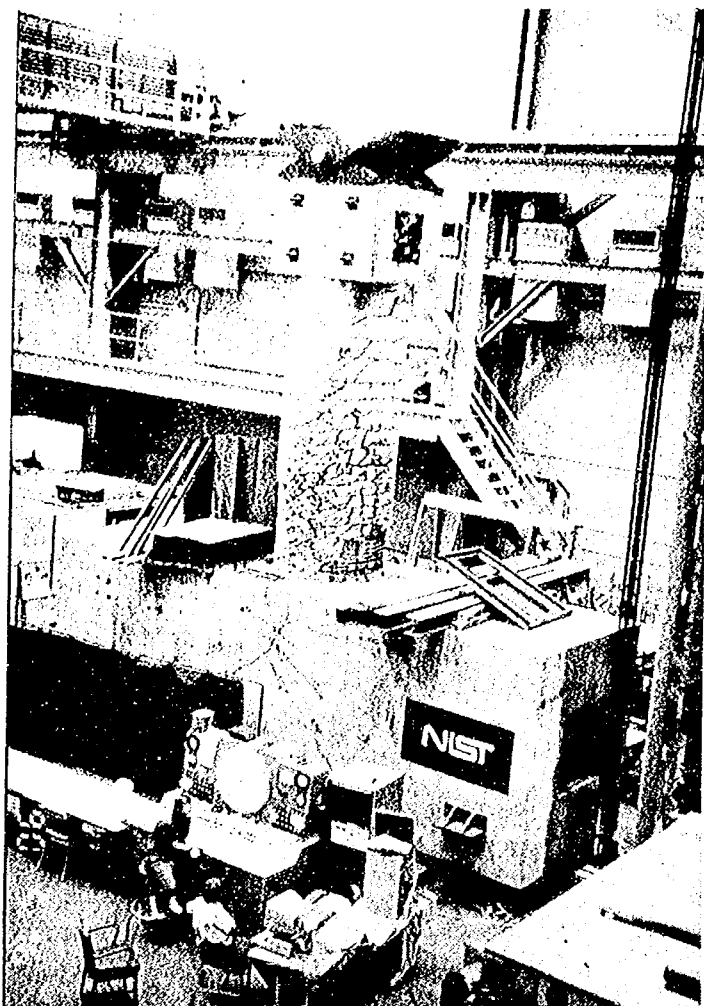


写真-11 実大円形橋脚の載荷実験(米国国立標準技術研究所)

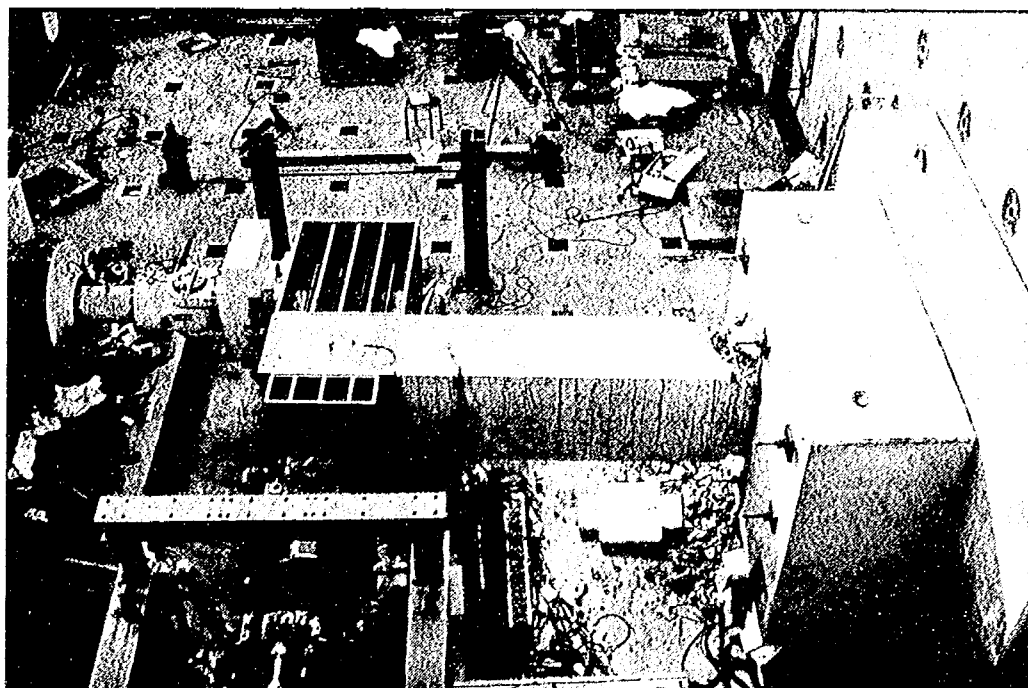


写真-12 中型模型橋脚の高速載荷実験(土木研究所)

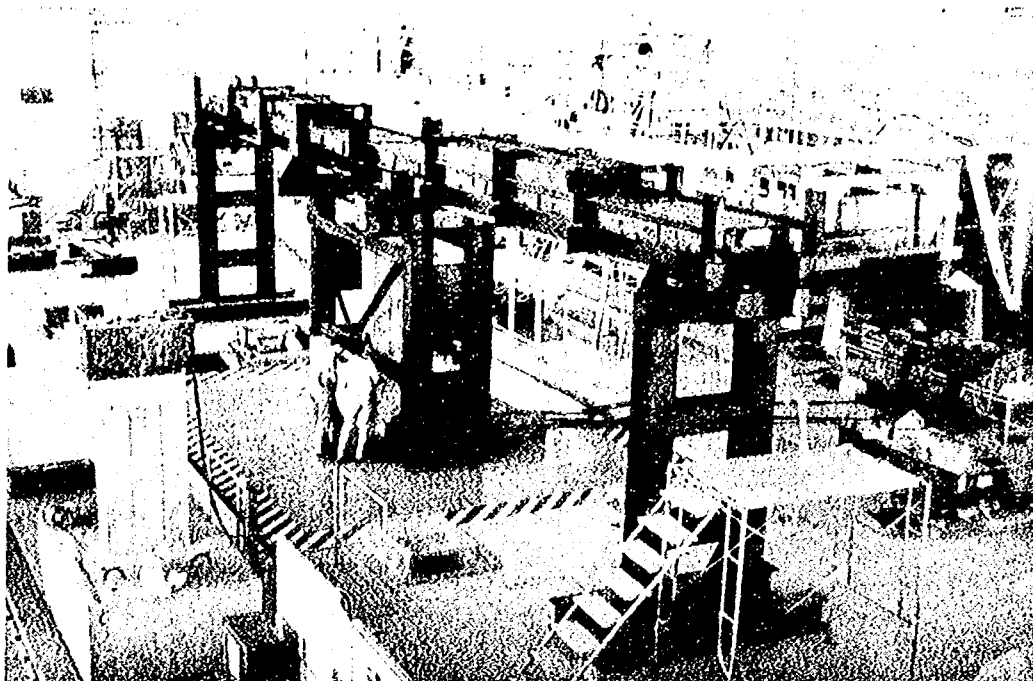


写真-13 橋脚の模型振動実験(土木研究所)

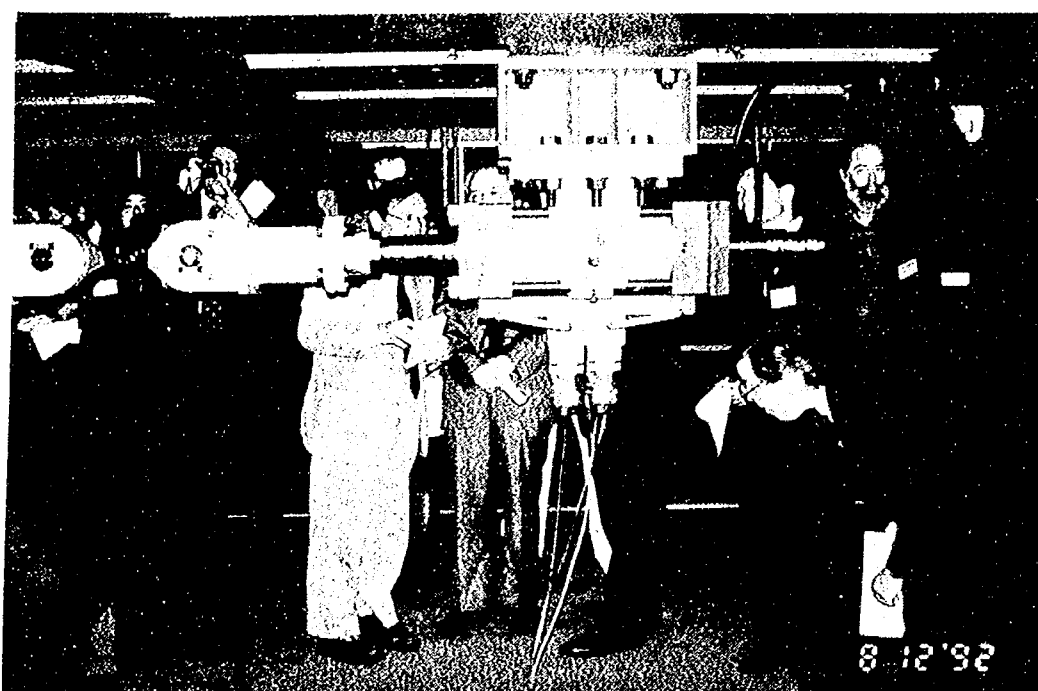


写真-14 土木研究所で開発中のバリアブルダンパー

水平力を加えます。また、土木研究所では写真-13に示しますように振動台を用いまして、実際の地震波に対する橋脚の振動を勉強しました。桁の重量は40トンもあり、ちょっとした横断歩道橋クラスの大きさであります。こうした大型実験を通して、大きな地震を受けた場合の橋脚の振動特性を検討し、研究成果は、合同部会や作業部会を通じまして情報交換するとともに、道路橋示方書耐震設計編等の技術基準等に反映されてきています。

技術協力は、免震や制震という新しい分野でも行われつつあります。たとえば写真-14は地震に対する橋の振動を小さくするために土木研究所が開発中のバリアブルダンパーという新しい装置です。この装置の解析では、米国連邦道路庁、ニューヨーク州立大学バッファロー校の地震工学研究センター、カリフォルニア大学アーバイン校との共同研究が行われています。レンガ造建物の耐震性は、他の構造形式による建物に比較しまして、一般に劣っているといわれております。これをどのように補強すれば耐力が向上するかという研究も日米共同で行っています。この研究の成果は、日米両国のみならず、発展途上国を含むいろいろな国に応用可能であります。写真-15は、建築研究所が行いました5層の実大建物の水平加力実験の状況です。大きな地震力を加え、建物の崩壊に至るメカニズムを調べています。

はっきりした共同研究の形はとっておりませんが、耐風技術に関しても、写真-16に示す土木研究所の大型風洞実験や連邦道路庁の風洞実験等から得られた最新の技術開発成果が本部会を通して交換されています。

平成4年には、それまでの23年間に合同部会及び作業部会主催のワークショップ等によりまして、日米両国間で交換された合計1,281編の論文のタイトル、著者を整理しまして、

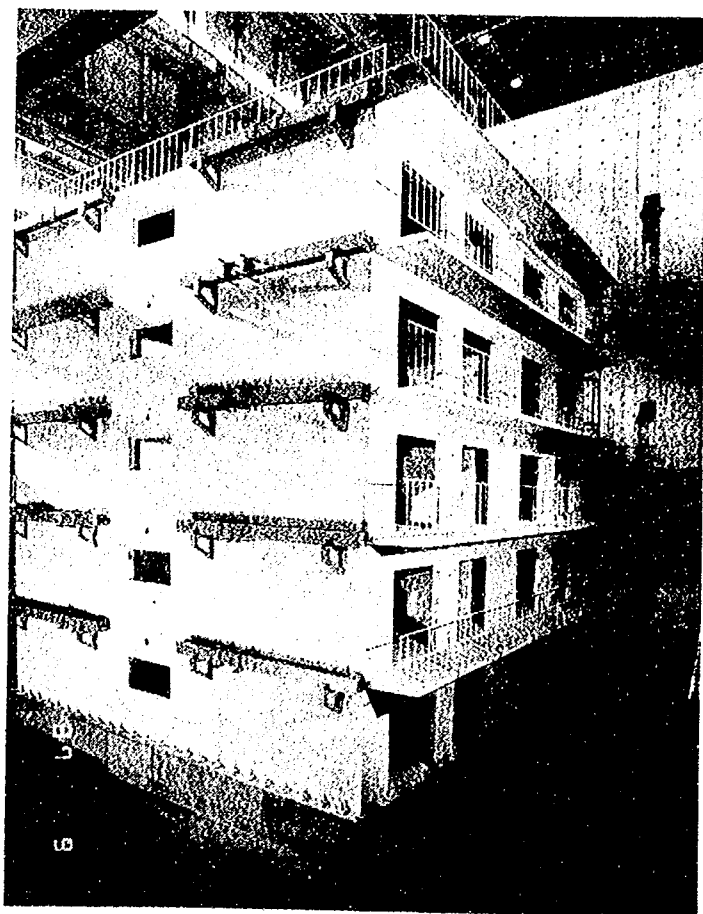


写真-15 実大5層レンガ造建物の水平加力実験(建築研究所)

論文リストをとりまとめました。論文リストは、土木研究所及び米国国立標準技術研究所の両方から刊行されまして、国際防災の10年(IDNDR)の活動への貢献の一環として発展途上国を含む関係機関に配布されております。写真-17は、論文リストであります。

1892年の濃尾地震から100周年を記念しまして、2年前の、1991年の5月には岐阜市で国際防災の10年の国際シンポジウムが開催されました。これは、建設省中部地方建設局を中心とする中部IDNDR実行委員会によって主催されたものであります。この中では、5人の講演が行われましたが、このうちの3題が、本日、ここにご列席の米国連邦道路庁 Cooper 副部長を含む本合同部会から行われました。

昭和63年には、本部会活動を通じた米国国立標準技術研究所(NIST)と土木研究所(PWRI)間の長い友好関係を記念しまして、米国国立標準技術研究所から研究所の庭に植えられております「ニュートンのりんごの木」が土木研究所に贈られました。この木は、りんごが落下するのを見まして、あの有名なニュートン卿が重力の法則を発見したという由緒正しいリンゴの木の子孫にあたるものであります。確か6代目の子孫であると聞いております。りんごの木は、通関等のために、2年近く農林水産省果樹試験所で手厚く面倒をみていただいた後、平成3年5月の第23回合同部会の際に土木研究所正面に植えられました。

リンゴの木は、先程ご挨拶いただきました米国大使館 Malloy 公使と当時の建設省三谷技監

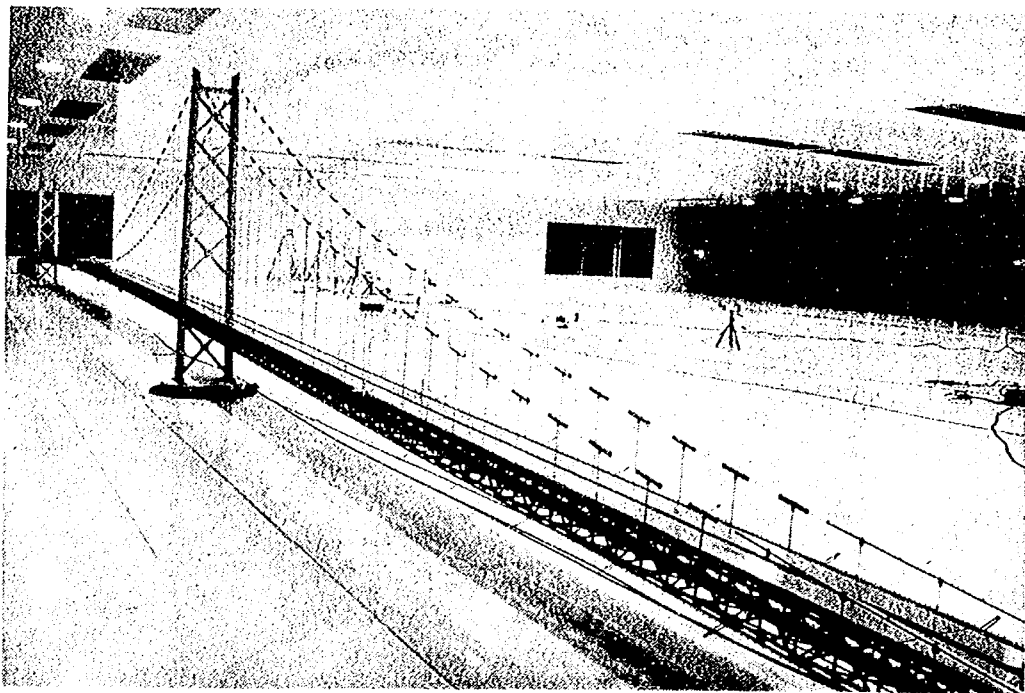


写真-16 大型風洞による模型実験(土木研究所)

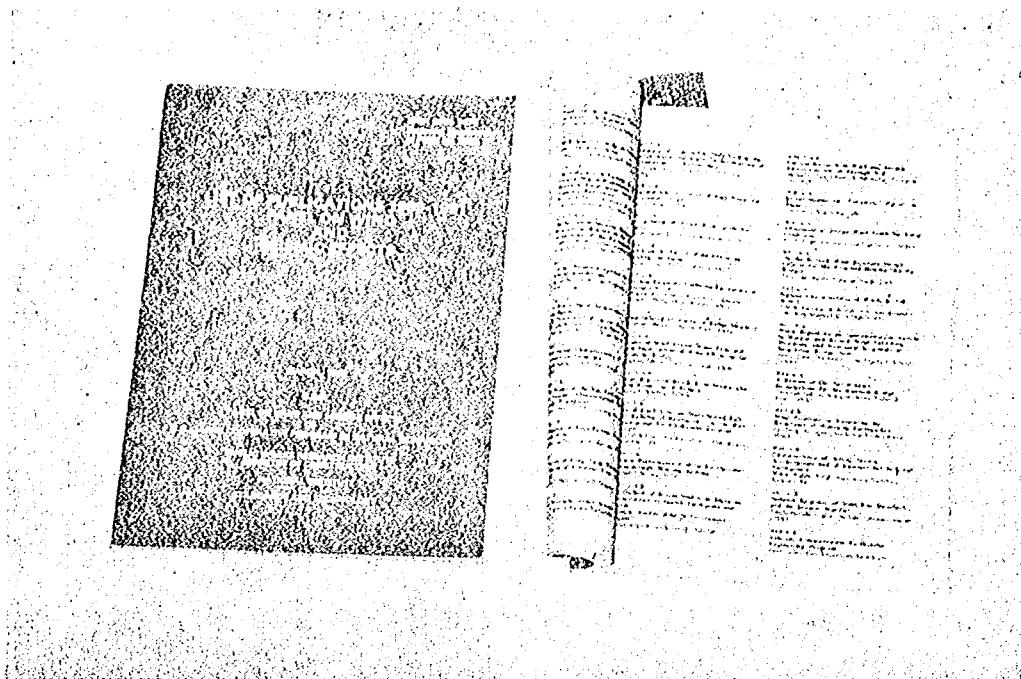


写真-17 合同部会及び作業部会で発表された論文のリスト



写真-18 ニュートンのリンゴの木の植樹(1991年5月)

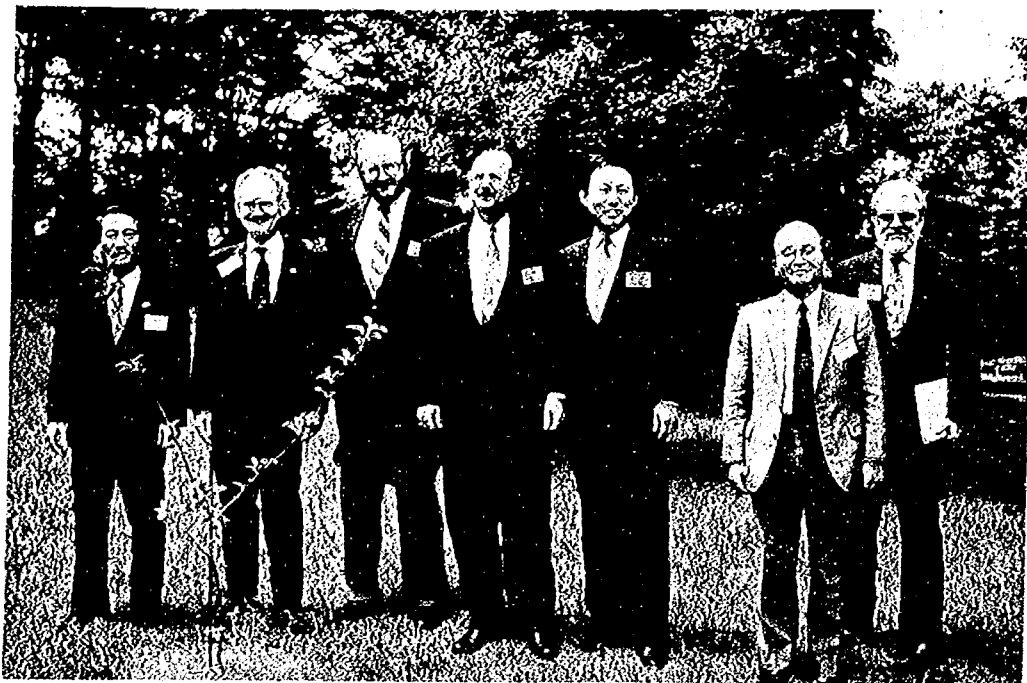


写真-19 ニュートンのリンゴの木の前で(1993年5月)

の手により、土木研究所本館前に植樹されております(写真-18)。写真-19は、今週の第25回合同部会の際の写真であります。まだ、りんごの実を实らせておりませんが、そのうちにリンゴが大きくなると、ニュートン卿による重力の法則の発見を確認するに至るのではないかと考えています。

以上御紹介して参りましたように、UJNR 耐風耐震構造専門部会は、約25年間にわたって、日米双方の耐風耐震技術の交流に大きく貢献して参りました。今後、我が国のみならず、世界的なレベルで、高齢化あるいは都市化の進展、経済・社会構造の変化あるいは情報・計算機技術の飛躍的な進歩、環境問題、国際化といった種々の分野で、経済・社会状況が大きく変化することが予想されます。こうした新しい変化あるいは新しいニーズに積極的に対応して、新しい課題にチャレンジしていく必要があります。このためには、センサー技術、リモートセンシング技術、計算機技術、情報通信技術といった、近年技術開発の著しい分野を積極的に利用いたしまして耐風耐震技術の開発を図っていくことが必要であります。

すなわち、情報通信技術等の先端技術の積極的な活用、長大橋梁・長大トンネル等の大規模プロジェクトへの対応、さらに最近増えております都市部に建設されつつある複雑、かつ、新形式の構造物の耐震耐風設計法の開発、一般規模の構造物に対します技術基準をどう作ってどう適応していくかという問題、それから構造物が立地いたします地盤を補強するという

ことで、液状化地盤・軟弱地盤等の耐震性をどう向上させていくか、津波に対する対策技術などの分野が含まれております。

また、今後の展望で非常に重要なことは、大都市圏の震災対策技術の開発をいそぐ必要があることです。この中には、大地震時でも確実にその機能を確保することができる重要幹線道路や電気・ガス等のライフライン施設の耐震性を向上するための技術、河川堤防等を含む都市を災害から守る都市防災の技術、避難・震災情報システム、災害が及ぼす社会経済的影響の評価技術等の技術開発が含まれます。さらには、本日は IDNDR の記念も 1 つの目的でありますけれども、途上国の災害を防ぐためにも、今後本部会の国際協力への貢献も重要な課題となっております。米国や我が国においては、研究開発から技術基準化をし、実際に適用するまでに、どのようなことを行っているか、発展途上国の経済的社会的条件に見合った災害対策技術にはどのようなものがあるか、発展途上国にあった基準をどのように作り、どのようにそれを実際の構造物に適用していくのかというようなことを研究して、ノウハウを伝えることは極めて重要だと思われれます。

緊密な日米技術協力の継続、良好な日米の友好関係への貢献、新しい社会・経済の変化に見合った研究情報の交換、若手研究者・技術者の交流、国際防災 10 年への積極的な貢献等、今後の UJNR 耐風耐震構造専門部会の果たすべき役割はたいへん大きいものがございます。

耐風耐震構造専門部会は、本年で 1/4 世紀という長い期間にわたって日米の技術協力の推進に努力して参りましたが、今後、次の 25 年に向かって新しい時代のニーズを取り入れながら、さらに一層活発な活動を継続していきたいと考えております。日米両国のみならず、世界の防災技術に役立つ成果を協力して生み出すことが本部会に参加している米国の 17 機関、日本側 7 機関、合計 24 機関の共通の課題であることを申し上げて、私の本日の発表を終わらせていただきます。

ロマ・プリエータ地震の被害と教訓

Dr. Richard N. Wright

米国商務省国立標準技術研究所

建築・防火研究所長

1932 年生

1955 年 Syracuse 大学修了

1962 年 Illinois 大学博士

1957-1974 年 Illinois 大学土木工学科

1974-1990 年 米国商務省国立標準技術研究所

建築工学研究所長

1983 年 - 耐風耐震構造専門部会米国側部会長

1991 年 - 米国商務省国立標準技術研究所

建築・防火研究所長



議長、ご紹介どうもありがとうございます。今回の講演会は、関東地震という悲劇的な出来事から 70 年、また UJNR の耐風・耐震構造専門部会の 25 周年というこちらの方はうれしい出来事ですけれども、を記念したものです。この講演会でお話しする機会を得ましたことを大変光栄に存じております。本合同部会の日米双方の参加者の誠意あふれる努力により、将来の自然災害発生のおりには以前のような悲劇的な損失は被らないで済むと期待しております。

土木研究所住吉所長には、本日、このようなすばらしいシンポジウムを共催して頂きましたことを御礼申し上げます。また、フランク博士の講演が可能となりました点についても御礼申し上げます。

創設時におけるフランク博士のご尽力により、また日本の皆様方のご努力のおかげで本合同部会は本日のような発展をみるに至りました。



写真－１ 講演中の Wright 氏

本日の私の演題は、「ロマ・プリエータ地震から得られた教訓」というものであります。すでに久保教授のご講演の中でもふれられておりましたが、まだアメリカの方ではロマ・プリエータ地震からいろいろな教訓を学んでいく余地があるのではないかと思います。日本の方々は過去の経験から既に様々な教訓を得ていらっしゃるかと思います。

アメリカで自然災害の被害低減の責任者、政策決定者、そしてエンジニアがロマ・プリエータ地震から得た教訓というのが本日の私の主題であります。

米国の著名な地震工学者であり、1956年の第1回世界地震工学会議の議長を務められたカール・スタインブルーケ氏は、私が「カール・スタインブルーケの法則」と呼んでいる、次のようなことを言われています。

その法則とは「政策決定者が外国の自然災害から教訓を得たことはない。」というものです。私は日本ではこの法則は真実ではないと期待していますし、私共の耐風・耐震構造専門

部会での取り組みにより、日米両国がお互いの研究成果と経験から十分に学び、また、全世界に我々の取り組みの成果が広まることを期待しています。本日のシンポジウムの目的もまさにそのようなところにあると思います。

それでは 1989 年 10 月 17 日におこったロマ・プリエータ地震について、まずはじめにその概略を説明させていただきます。

太平洋標準時間で 1989 年 10 月 17 日午後 5 時 4 分にマグニチュード 7.1 の地震が起こりました。震央はサンタクルーズから北東 15km、サンフランシスコから南南東 95km に位置していました。サンタクルーズ山地下のサンアンドレアス断層の一部に破断が起こりました。震源は地表から深さ 18km のところにあり、破断は 40km にわたって北西及び南東の方向に進みました。約 10 秒間の出来事でした。

地震は 100 万 km^2 におよぶ範囲で体感されました。図-1 の下の方にあたるロサンゼルスがその南限で、北はオレゴン州、西はネバダ州に至るまで体感されました。

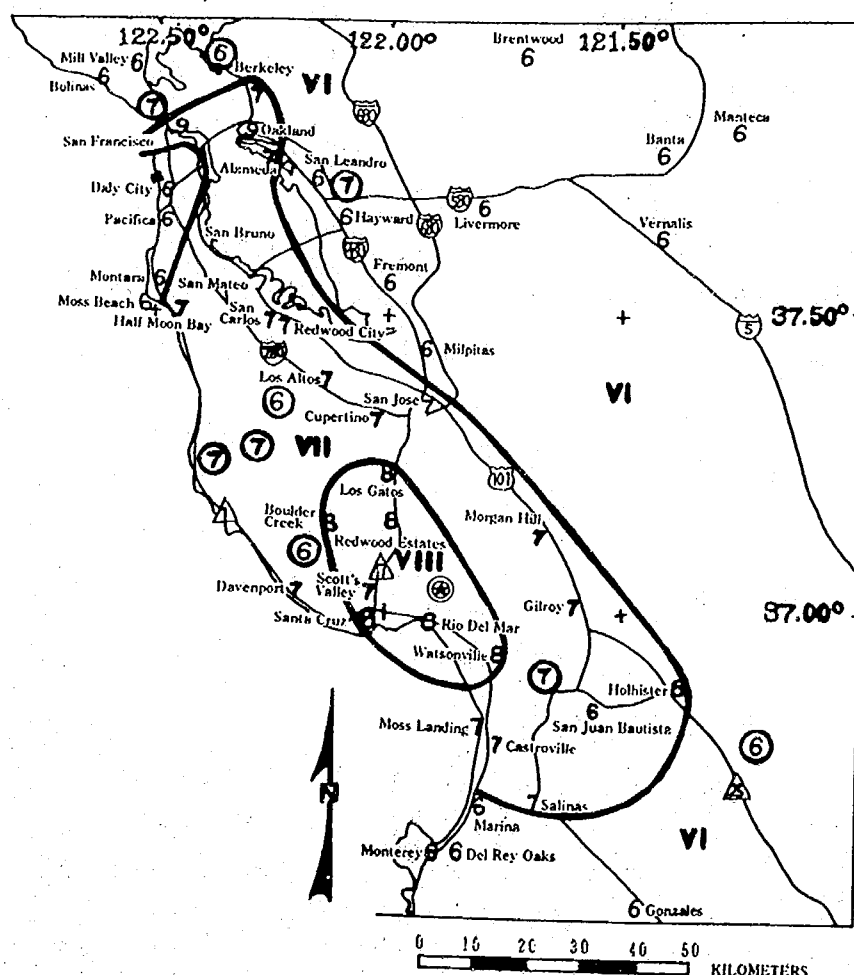


図-1 ロマ・プリエータ地震の震度分布

この地震はロマ・プリエータ地震と名付けられましたが、サンアンドレアス断層で起きた地震としては1906年のサンフランシスコ大地震以来最大の規模のものでした。1906年サンフランシスコ大地震はマグニチュード8.3で、断層が440kmにわたって破断しました。

あとで詳しく見ていきますが、震央がサンタクルーズの近くであったにもかかわらず、最も激しい被害が生じたのははるか北西のサンフランシスコのベイエリアであったということから多くの教訓が得られています。



写真-2 ロマ・プリエータ地震による建物の被害(木造住宅)



写真-3 ロマ・プリエータ地震による建物の被害

強震が続いたのはわずか10秒から15秒ほどでした。それにもかかわらず、ロマ・プリエータ地震の被害は甚大でした。木造の住居や補強されていない積石造の建物は、震央近くで大きな被害を受けました。サンフランシスコやオークランドなどで、局所的に被害が大きかった場所もあります(写真-2,3)。

サンタクルーズ、ワトソンビル、ロスガトスでも古い建物の被害は甚大でした。被害は中小企業の集中した市街地中心部に位置していました。

ベイエリアの高架橋も大きな被害を被っています。例えば、州際道路880号がオークランドで一部落橋し、42名の命が失われました(写真-4)。サンフランシスコ～オークランド・ベイブリッジで15mのつり径間部が落橋したことにより、ベイブリッジは1カ月閉鎖されました(写真-5)。

ベイエリア・ラピッド・トランジット・システム(BART)はすぐに運行を再開しましたが、幹線道路や橋梁に被害が生じたために、長期にわたって通勤や経済活動に重大な影響が生じました。

地震後、カリフォルニア州知事直属の災害対策本部がまとめた統計によると、死者は62名、負傷者は3,757名、また直接被害額は60億ドルにのぼりました。また、12,000人が家屋を失いました。

この地震は、ワールドシリーズ地震とも呼ばれています。たまたまワールドシリーズの野球の試合が行われており、試合をテレビで見るために帰宅時間を早めて家に帰った人が多かったのですが、それがなければ被害はさらに甚大になっていたであろうと考えられています。

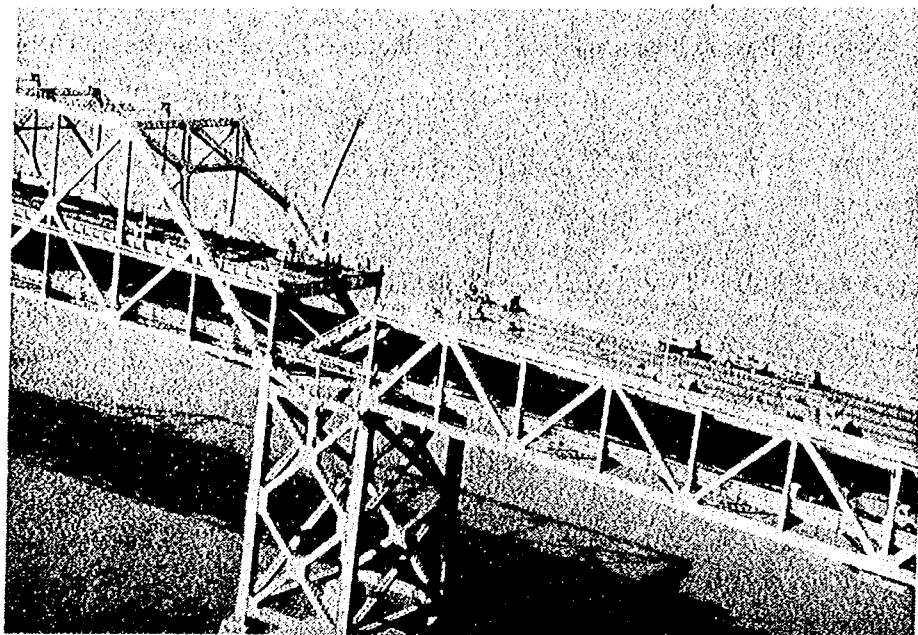
ロマ・プリエータ地震については地震直後から行われた調査により、多くの情報が提供されています。National Research Council(NRC)とEarthquake Engineering Research Institute(EERI)は近々「ロマ・プリエータ地震から得られた実践的な教訓」というシンポジウムの論文集を発行する予定ですが、これは本日私が発表する事項を記した文献に多数言及しており、皆さんのお役に立つでしょう。また、米国地質調査所のリーダーシップのもとに決定版ともいえる論文集が作成されており、ロマ・プリエータ地震のプロフェッショナルペーパーシリーズとして刊行される予定です。

この講演は本シンポジウムの論文集の一部として出版されますが、詳細については米国地質調査所でまとめている論文集、またはEERIの会議報告をご参照いただきたいと思います。

さて、本日は次のような5つの点にしばって教訓として挙げていきたいと思います。



写真－４ ロマ・ブリエータ地震による高架橋の被害



写真－５ ロマ・ブリエータ地震による橋梁の被害

まず、第1点として地震の危険を低減していく上での政策課題、第2点が地震のメカニズムおよび影響、第3点が建物の挙動、第4点がライフライン施設の挙動、そして第5点が地震後の科学的及びエンジニアリング的な活動です。

私は本講演で、地震の危険を低減していく上での政策課題に重点を置いて話を進めます。今回の地震によって、政府や民間企業の施策決定者がようやく地震被害の軽減について真剣に考え始めたということは意味のあることだと思います。

地震が起こったわずか数ヶ月後の1990年1月5日に、「連邦政府の構造物、または連邦政府の支援下・規制下に建設される構造物の耐震安全性」に関する大統領令が施行されました。これにより、連邦政府が利用する目的で、建設もしくは委託建設する構造物は、十分な耐震性をもって設計・施工されなくてはならないとされました。

「National Earthquake Hazard Reduction Program(全米地震災害軽減計画)」による新規構造物の耐震規制作成勧告規定がありますが、これと同レベルの規定が達成されておれば大統領令が実施されたとみなされることになります。連邦政府の支援下・規制下の新設構造物の建設にあたっては、例えば連邦政府の抵当保険の適用を受けて販売される新しい建物であっても、大統領令に適合する必要があります。

州および地方自治体の建築基準は、モデル建築基準というものに基づいています。州政府・地方自治体は連邦政府からの助成金を必要としており、そのためこのモデル基準も先ほどの全米地震災害軽減計画の勧告規定と同等の耐震規定を取り入れています。州および地方自治体の建築基準は最新のモデル建築基準に基づいているため、新しく建設される構造物はこの先数年内に最新の耐震規定を満足するようになるはずです。

ロマ・プリエータ地震とハリケーン・アンドリューが甚大な被害を及ぼしたため、アメリカの保険業界は、連邦政府による再保険がなければ大地震やハリケーンに対処することができないと考えるようになりました。また、強力な自然災害軽減策がとられない限りは保険プログラムを実施していくことが不可能であると考えようになりました。さらに、州の災害対策担当者の全国組織も保険業界の立場を支持しています。このような影響力の大きい業界団体のはたらきかけにより、全米地震災害軽減計画を含む連邦政府の自然災害軽減策の強化が図られると考えられています。

ロマ・プリエータ地震により、全米地震災害軽減計画そのものも見直しを求められています。諮問委員会がこの計画の再編成のために組織されました。そしてこの計画を次のような点において強化するように勧告しています。

すなわち、第1点に全米地震災害軽減計画の企画・実施にあたっては、管理体制の改善に

より計画・実行に優先順位をつけていくこと、第2点に自然災害の軽減の実施のためにより強いインセンティブを与えること、第3点に実務の改善につながるタイムリーな技術提供を行うために問題解決型の研究を強化していくこと、第4点に危険性の評価法を改善し、政策決定者に対して地震災害軽減策の有効性を明らかにしていくことです。

危険性に対する認識は、政府、民間企業および一般市民に対して、地震被害の軽減のために貴重な資金を投入していく意義を理解していただく上で不可欠です。

また、予想される人的被害を構造物の物的な挙動に合理的に関連づけていくことが必要です。そうすることにより、地震による死傷者を減らすような新規及び既存構造物の設計改善が可能となります。

地震による間接的な経済損失はまだ明確に定義されていません。破壊的な地震は、保険業界が言うように全国的なレベルでの壊滅的な経済損失につながるのでしょうか。国レベルで壊滅的であるかどうかは別として、地震の影響を予測することはライフライン施設の耐震基準などの被害軽減策をコスト効率的にしていく上で重要です。

物理的な危険性はより明確に定義されています。少なくとも最近地震を経験しているカリフォルニア州では明確に定義されています。しかしながら、物的な被害予測能力も危険性評価の体系的な技術の一環としてさらに改善が求められています。

日本では関東大震災の経験から、地震に引き続いておこる火災の被害についてよく知られていますが、アメリカでは地震後の火災の被害についてそれほど知られていません。

ロマ・プリエータ地震では、サンフランシスコに火災が発生し、消火用水の供給が絶たれてしまいました。サンフランシスコには全米でもめずらしく緊急支援用の給水システムがありましたが、この水の供給も絶たれてしまいました。幸い風がなく、火災は急速には広がりませんでした。火災はベイエリア近くで起きたので、1時間半程度で消防艇が消火活動を開始しました。これらは、将来期待できない偶然の重なりです。火災の危険度予測能力の改善が危険性評価の重要な要素であり、地震後の消火活動の能力を高めることが、地震災害を軽減していく上で重要です。

ロマ・プリエータ地震は既存の建物の耐震性評価及び耐震補強、ライフライン施設の設計・施工・耐震性評価・耐震補強をさらに進めていくきっかけになりました。また、連邦危機管理庁(FEMA)の後押しで策定されるガイドラインおよび最新の研究の成果に基づいて、全国的なレベルでの耐震基準の策定が進んでいます。

連邦政府機関は、民間企業と協力して既存の連邦政府の建物の耐震性評価および耐震性向上のための基準づくりを行っております。この基準は全米地震災害軽減計画の更新にともな

い、1994 年末までに連邦政府から公表されることになっています。全米地震災害軽減計画の更新により、ライフラインの耐震設計・施工基準の開発・実施も求められ、そのための計画も進められています。これにより、既存のライフライン施設の被害低減に重点が置かれ、既存の基準監督機関を通じて勧告規定が適用されることになり、また、規定の試案はモデル事業で検証される予定です。

現行の慣行の改善に携わっている実務家や研究者は、根本的な改善のために数多くの提案をしています。提案には以下の事項が含まれています。

- ・ 既存構造物の許容耐震性の基となる許容危険度を定義する。また、構造物を新設および補強する際に必要とされる耐震性の水準を定義する。
- ・ 構造物に対する地震荷重のかかり方を考えるため、強震の継続時間を明らかにする。そのために、耐震設計用の地震の時刻歴のシミュレーションを行うことが必要となる。
- ・ 機能面に着目した、財産損失の軽減につながる設計基準を作成する。
- ・ 地震の際の構造物の挙動に対する利用者の理解を深めるような基準を作成する。
- ・ 破損した構造物からの落下物によって人や他の構造物が被害を受けないように安全性を確保する。

いかに設計・施工基準が優れていても、実際に使えるかたちになっていなければなりません。これまでの経験から、主要構造物の耐震設計・耐震性評価・耐震補強を行う際には、既存の構造基準監督機関の技術的・財政的な能力を上回る評価能力が必要とされることが明らかです。耐震安全基準の実施に当たっては、耐震工学を専門とする第三者が、重要構造物の設計・耐震性評価・耐震補強に関わる必要があります。

耐震性が充分ではない既存の建物やライフライン施設の耐震性を評価し、耐震補強することは、耐震安全性を備えた建物やライフライン施設を新規につくるよりも高くつきます。したがって、ライフライン施設や建物を数多く管轄している機関は、危険度に基づいて耐震性評価および耐震補強の優先順位をつけていく方法を必要としています。

効果的な緊急事態対応策は地震被害を軽減する上できわめて重要です。ロマ・プリータ地震の前から、緊急事態対応策の計画及び訓練はサンフランシスコ・ベイエリアの地方自治体、カリフォルニア州政府、連邦政府機関によって行われていました。このような計画や訓練がロマ・プリータ地震の際に大変役に立ちました。この経験に基づいて、カリフォルニア州は同様の計画や訓練を続けていますし、迅速な被害評価技術の開発、消火活動の管理シ

システムに基づいた緊急事態の管理システムの開発を行っています。

マスコミは災害時には貴重な味方ともなりえますし、大きな問題を引き起こすこともあります。積極的なマスコミ対策が必要であります。計画の策定にあたっては、緊急事態においてマスコミを通じた一般市民への効果的な情報提供を盛り込む必要があります。

また、緊急事態の際にどのような行動をとるべきかについて、一般市民の啓蒙をすることが必要です。例えば、地震に対して危険な家屋の被害を減らすため、前もってどのような行動をとるべきか、あるいは地震が起こったときにどう対応すべきかといったことについてです。私たちはこの点に関して、日本での経験から多くのことを学んでいます。

緊急事態の際にはボランティアも大変有効です。地震の危険性が高い地域では前もってボランティアを募り訓練することができます。また、危険性が高いにせよ、普通程度にせよ、緊急対策にあたる組織は、ボランティアを訓練し効果的に活用していく用意ができていなくてはなりません。

家屋を失った人のために緊急の避難所が必要とされています。しかしながら、こういった緊急用の避難所は、余震の際に崩壊するのではないかと恐れられ、うまく利用されませんでした。避難所の安全性を慎重に評価し、また一般市民の教育を行うことによって、この問題は解決されると思います。

アメリカには、ホームレスもしくはそれに近い人々がいるという非常に深刻な問題があります。そのため、ホームレスのために震前対策を講じたり、低コストの住宅が地震により危険になった場合には緊急シェルターを建設したりして、住民を受け入れていかなければなりません。このようなシェルターは長期に利用されると考えられますので、それに応じた計画が必要となります。

1985年のメキシコシティ地震や、1988年のアルメニア地震の際には、崩壊した構造物の下から人々を救出するために多大な努力が払われましたが、そのためには十分な準備が整っていなければなりません。ロマ・プリエータ地震の際には、搜索及び救出活動が行われたのはカリフォルニア州オークランド市の州際道路 880 号の高架橋についてのみでした。

アメリカでは全米都市搜索救出プログラムの中核として 25 の機動部隊が組織されました。このうちの 2 つが 1992 年のハリケーン・イニキの際にハワイに派遣されました。

ロマ・プリエータ地震の直前に、地震後の構造物の安全性評価の指針が開発され、それに従った訓練も行われていました。これはロマ・プリエータ地震の際に被害を受けた構造物の耐震性を評価する上で大変役に立ちましたし、この経験に基づいて設計・施工法の改善が進んでいます。

ロマ・プリエータ地震によって、地震後の復旧活動は地震前に計画しておかなくてはならないということがわかりました。カリフォルニア州ではすでにそのような震前計画がなされていましたが、それほど地震の危険度が高くない地域で、このような計画をたてることは難しいかもしれません。おそらく、モデルプランのようなものであれば実現するでしょう。

再建のための基準もあらかじめ作成しておかなければなりません。一般的には、復旧に当たっては将来の地震にも耐えるように建設しなくてはなりません。それが被害の軽減につながるからです。しかし、緊急事態において充分な額の投資をするのは容易ではありません。

では、これからロマ・プリエータ地震で得られた技術的教訓について、地震のメカニズムと影響からお話していきます。

ロマ・プリエータ地震は前から知られていた地震空白域で起こりました。サンアンドレアス断層の1906年以来ずれが生じていなかった部分です。震央は、破断の生じた範囲のほぼ中央に位置し、震央から始まった破断は南北両方向に広がりました。その結果、強震動の継続時間はマグニチュード7.1の地震のものとしては比較的短く、10秒から15秒間でした。普通であればこの2倍の継続時間があつたはずです。同じ強さの地震動がもっと長く続いていたら、被害はさらに甚大になったと考えられます。特に長周期の構造物が大きな被害を受けたでしょう。

図-1を見ていただければおわかりになると思いますが、地震動が最も大きかったのは、震央からはるか北西の、サンフランシスコ湾岸地域でした。地震学的な研究成果によれば、この理由は地震波の反射だということです。基盤岩の露頭では地形の影響があつたのが明らかです。

サンフランシスコ湾岸の被害のほとんどは軟弱地盤の上で起こりました。こういう地盤では地震動が大きく増幅されます。また、震央地域における被害の多くも軟弱地盤でおこりました。

地震動の増幅は、基盤形状が水平でないところを除けば、1次元モデルで予測することができます。また、注目すべき点として地震動の増幅は短周期の構造物にも生じており、これは設計基準に反映する必要があります。

液状化によって様々なパイプラインが破断しました。これは水の供給に対する大きな脅威となり、さらに、水が供給されないことによって火災の危険性が増大します。液状化の予測技術が確実なものであるということが、ロマ・プリエータ地震の際に立証されました。液状

化による側方流動の程度が、ライフライン施設の耐震設計及び耐震性の評価をしていく上で重要なパラメーターとなっています。しかしながら、この側方流動の量を予測する信頼できる手法はまだありません。

一般的に、構造物は予測された通り地震動に応答しました。しかしながら、保守的な設計のため、免震システムは近年の地震において振動を十分に抑えることができていません。

ロマ・プリエータ地震以前に耐震補強されていた構造物の調査が行われ、耐震補強されていなかった構造物よりも耐震性能が良かったかどうか検討されました。その結果、完全に耐震補強された構造物は石造りの建物であっても、部分的にしか耐震補強されていない、もしくは全く耐震補強されていない構造物よりもずっと耐震性能が良かったことがわかりました。

ロマ・プリエータ地震によるライフライン施設の被害は、州際道路 880 号の高架部がオーランドで被災したことにより、多くの人命を奪いました。また、サンフランシスコ～オーランド・ベイブリッジの落橋により経済活動に大きな支障をきたしました。

ライフラインシステムが相互に影響しあっているということは、ライフライン施設の機能を考える上で重要です。橋梁で結ばれている通信、水道およびその他のライフライン施設は落橋により寸断されました。サンフランシスコ地域で停電したために、液状化により破断した水道管のバルブが閉じなくなってしまう、貯水池の水が失われてしまいました。そのため、消火活動に大きな支障をきたしました。

地震後の調査は、将来の地震被害を軽減していく上でますます重要になってきました。ロマ・プリエータ地震の調査の経験から、調査対象を迅速に決定するためには航空調査が重要であることが明らかです。また、詳細なデータを収集する上ではビデオカメラが効果的であることがわかりました。余震を計測することも重要であり、今まで観測が行われていなかった地域の地震動の強度を知ることができます。さらに、迅速に調査を行い、調査の重複を避けるためには、危機管理に関わる機関と調査担当者との協力しあうことが必要なこともわかりました。

1989 年 10 月 17 日のロマ・プリエータ地震は、公共政策と設計・施工法に関し、全米規模で良い教訓を与えました。この地震は 1906 年のサンフランシスコ大地震以来、カリフォルニア北部を襲った地震としては最大のものですが、この地震と同規模あるいはさらに大規模

な地震が50州の内の実に46州で、またプエルトリコ、バージン諸島でも発生し得ると考えられています。したがって、ロマ・プリエータ地震で得ることができた公共政策上の教訓、また構造物の挙動と地震工学上の知見が、将来の地震の危機を軽減するために全米でまたさらに全世界的に活かされればと願っております。

ありがとうございました。

ハリケーンアンドリュー及びヒューゴの 被害と教訓

Mr. G. Robert Fuller

米国住宅都市開発省住宅局建築基準部長

1938 年生

1960 年

Pennsylvania 州立大学卒業、

Catholic 大学卒業

1980 年

America 大学卒業

1960-1966 年

ワシントン退役軍人協会技師

1966-1970 年

Gongwer/Kraas コンサルタント技師

1970-1980 年

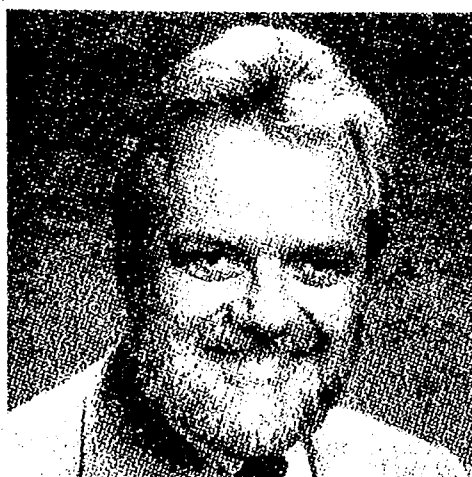
米国住宅都市開発省主任技師

1976 年 -

耐風耐震構造専門部会米国側委員

1980 年 -

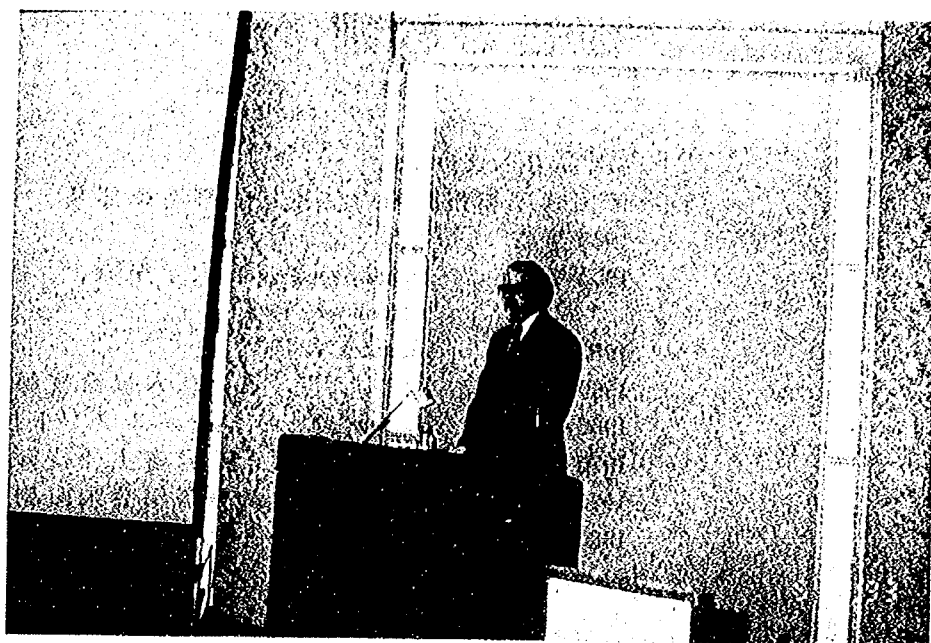
米国住宅都市開発省住宅局建築基準部長



本日は、ハリケーンヒューゴ及びハリケーンアンドリューから学んだ教訓とその被害に関して、住吉所長、ライト博士、久保名誉教授、また過去の耐風耐震構造専門部会の委員長及び委員の方々、ご来賓を前に話ができますことをたいへん光栄に存じます。

時間も限られていますので、本日は、後日出版されます論文集の中の本論文のポイントのみを説明したいと思います。まず、ハリケーンによる被害の調査結果及びそれから学んだ教訓、さらには将来に向けて被害を軽減していくために策定された勧告案についてお話したい

と思います。そして最後に、被害状況のスライドを見ていただき、主に一戸建て住宅用家屋に対する施工方法についてご紹介したいと思います。



写真－１ 講演中の Fuller 氏

ハリケーンヒューゴは、1969年にルイジアナ州、ミシシッピ州の沿岸を襲ったカミールハリケーン以来最も強大なハリケーンでした。NOAAの調査航空機の測定によれば、ガードループ東部で、風速約256km/h、中心気圧が918mbであり、この結果カテゴリー5と評価されました。しかし、1989年9月22日にハリケーンヒューゴがサウスカロライナ州チャールストン近くのサリバンス島に上陸した時には、カテゴリー4でした。サウスカロライナ州沿岸では、約6mの高潮が観測されました。

プエートルリコでは、9月17日から18日の間に55,000戸の家屋が全壊もしくは大きな損害を受け、その結果、37,000人が住宅を失い、少なくとも5人の死者が出ました。また、アメリカのバージン諸島では死者4人、住宅を失った人は約45,000人にものぼりました。そして、サウスカロライナでは9月21日から22日までの間に18人以上の死者が出、24の郡が災害地域の指定を受けました。一方、ノースカロライナでは4人が死亡し、29の郡が災害地域の指定を受けました。

次に、ハリケーンアンドリューについて紹介いたします。ハリケーンアンドリューは、1992年8月24日の明け方フロリダ州の南東海岸に上陸し、サウスデード郡、ホームステッ

ドやフロリダ市の地域社会に大きな被害を及ぼしました。ハリケーンアンドリューは、大きな被害をもたらしながらフロリダ半島のエパングレード国立公園付近を横切り、フロリダ州南西海岸のナッフル付近を通過しました。降雨量は18cmを越える程度で、大洪水は発生しなかったのですが、大きな被害は、サファール／シンプソンスケールでカテゴリー4の強風により発生したものでありました。この点は、今回の日米耐風耐震構造専門部会で岡田博士が発表された1991年の台風19号とよく似ています。

このハリケーンアンドリューによる被害額は、フロリダ州とルイジアナ州で約300億ドルと推計されています。これは、アメリカの歴史上最も被害額の大きい自然災害であります。強風により、55人以上の死者が出、また20万人以上の人々が住宅を失いました。

フロリダ州では一戸建て家族用住宅、プレハブ住宅、アパートが約80,000戸、ルイジアナ州では約10,000戸が全壊もしくは大きな被害を受けました。また、中程度の被害を受けた建物も、ルイジアナ、フロリダ両州で72,000戸にのぼりました。

また、59箇所の病院、7箇所の郵便局が大きな被害を受けました。教育関係の施設では、約280の学校が被害を受け、損害合計金額は約3億ドルになりました。他に、大学等の教育施設の被害額は、6,000万ドルでした。

それでは、ハリケーンヒューゴに話を戻しまして、被害の調査結果について述べたいと思います。

風工学研究協議会の報告書によりますと、プエルトリコにおける被害は、高層マンションの窓ガラスの損傷が原因であるものが多いと報告されています。

サウスカロライナでは、学校、病院、マンション、ホテル、商業施設等の多数の建物の屋根及びガラスが、強風によって破壊されました。このため、雨による被害が大きくなりました。建築物の被覆材は、ハリケーンのような強風に耐えるようには設計されていなかったと考えられます。

チャールストン近くのサリバンス島、パームス島、フォーリービーチでは、風と高潮により1階建てまたは2階建ての住宅が大きな被害をうけました。これらの島々では、海岸から約152mの範囲の全ての建物が大被害を受け、全壊した建物もありました。

また、鉄鋼工業施設も損傷を受けました。その中でも側壁、屋根部分、ドアの被覆部分に大きな損傷が生じました。

ハリケーンヒューゴが通過して間もなく、住宅都市開発局がプレハブ住宅の被害調査を開始しました。その結果、この種の建物に対して、次のような調査結果が得られました。すな

わち、主な損傷は、結合部分、定着部、基礎に生じ、またサクシオン現象により側壁、屋根部分、屋根の被覆材が損傷したことがわかりました。

一方、FEMA(Federal Emergency Management Agency)も、このハリケーンヒューゴの後、災害調査チームを派遣しています。この調査書によれば、ハリケーンヒューゴによる主な被害の原因は、高潮、侵食、波浪、また雨をともなった強風であり、洪水はそれほどでもなかったということです。また、私有林、連邦政府所有林、州政府所有林が被害を受け、67億立方フィート以上の木材が損失し、その被害金額は10億ドルと査定されました。

その他、小中学校のような教育施設も大きな被害を受け、農業作物に対する被害額も3億3600万ドルと膨大なものでありました。

次に、ハリケーンアンドリューによる被害の調査結果について話したいと思います。

1992年9月7日の週に、フロリダ州政府の担当者と連邦政府住宅都市開発省の査定官2名、及び風工学の専門家として有名なHerb Saffir氏でチームを編成し、プレハブ住宅が被害を受けた原因について調査しました。調査団は、プレハブ住宅の結合部、アンカー部、揚力バンド、壁板が損傷を受けていることを明らかにしました。ハリケーンヒューゴの時と同様に風の負圧が高く、プレハブ住宅等の隅角部や壁端部分が損傷しました。

住宅都市開発省が実施した調査とほぼ同時期に、フロリダ州の地域社会局、及びFEMAも調査をしています。この調査の時に撮影した写真のスライドを、後ほどお見せしたいと思います。この調査でも、一般住宅の屋根、壁板、接合部などの損傷が明らかにされています。先ほどフランク博士からお話がありました様に、プレハブ住宅や一般住宅家屋以外にも、商業施設や企業の工業施設などの建築物も大被害を受けました。低層階の商業用建築物の被害は、ダイヤフラムの機能が失われ、支持壁が倒壊したために生じたと考えられます。また、屋根に非常に長いプレキャストコンクリート桁やれんが製の壁を使用している商業施設も倒壊しました。鋼材端の溶接強度や側壁の固定方法も不適切であることがわかりました。

ハリケーンヒューゴとハリケーンアンドリューを通じて共通の問題点は、風速の測定法に関することです。すなわち、実際の風速を計測する点に弱点があったのです。風速計やその支持構造が、測定可能な最大風速に到達する以前に故障してしまい、ハリケーンの進路上での正確な風速が計測できませんでした。

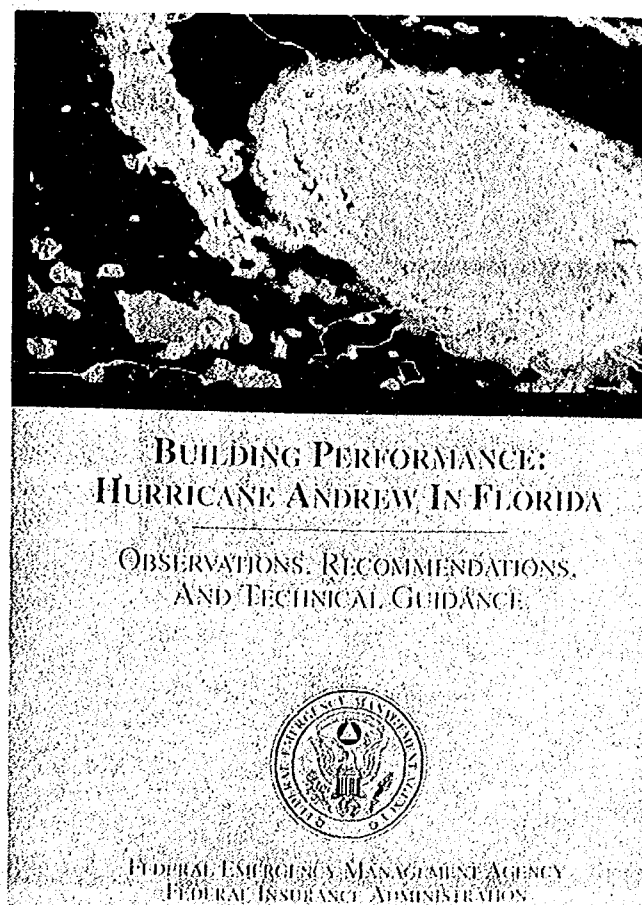
さらに、各官庁、団体、建築協会、建築会社、建築専門家は、別の手法で風速を計測しましたが、これらの結果にはばらつきがありました。このことは、将来の設計基準の策定に大きな影響を及ぼすものであり、ハリケーンに対する風災害軽減のための建築基準を開発する

上で、ネックとなってきました。

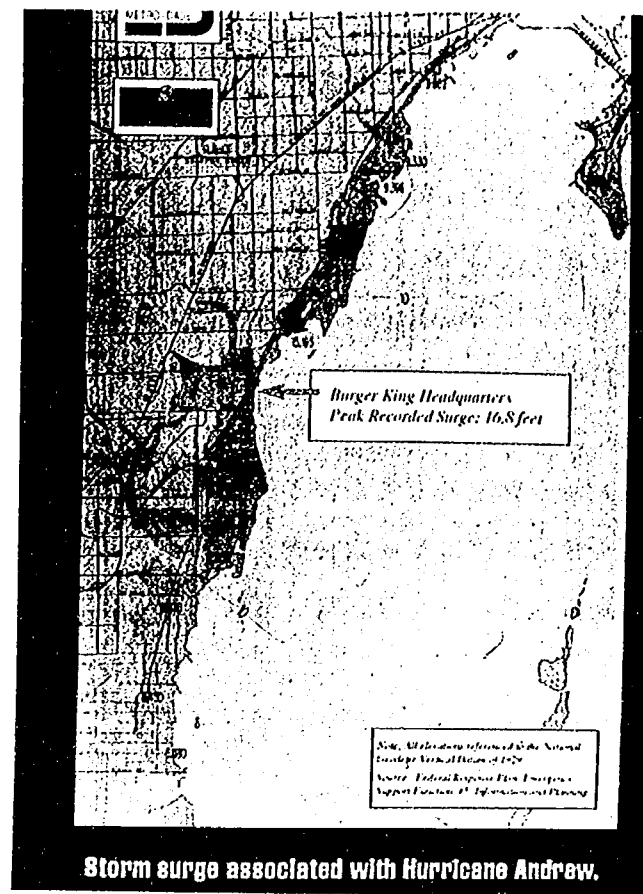
ハリケーンアンドリューにより、建築基準の中での耐風設計の高度化が重要であることを改めて認識しました。ハリケーンアンドリューの後、建築基準を ASCE7-88 の基準に準拠する旨の勧告が ASCE、SBCCI、南フロリダ建築基準、及び住宅都市開発省に対してなされました。被覆材に対する風の揚力や負圧の影響を大きくとること、そしてプレハブ住宅に対する定着部や結合部、また構造部材間の関係、すなわち窓と設計応力あるいは屋根の軒・棟と設計荷重の関係が改訂されました。

自然災害の軽減は、連邦政府、州政府、地方自治体の重要な事業活動であり、非政府団体や民間会社も協力して、人命や財産の損失をおさえていくことが、将来においても必要であります。そして、官庁間や政府間による建築物被災調査チームや災害軽減チームをうまく活用することが、災害後の調査や防災計画の立案に有効であると思います。

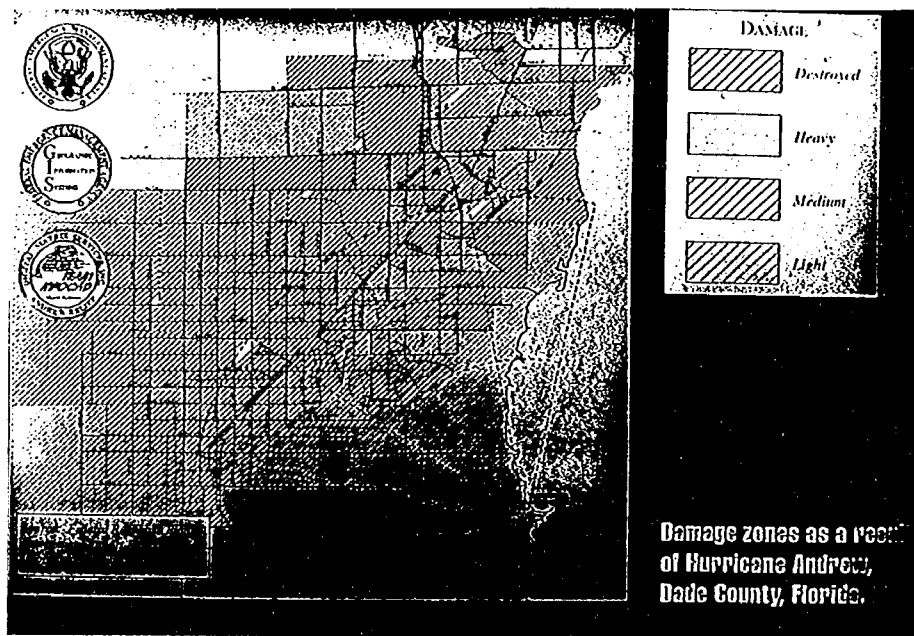
では、次に写真で被災の状況をご覧ください。



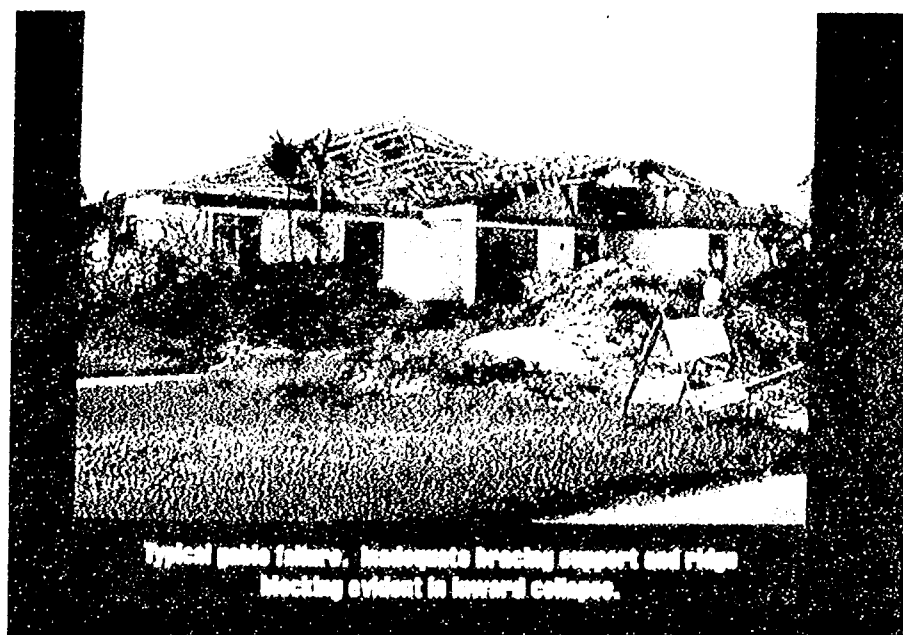
写真－２ FEMA の調査レポート



写真－3 高潮が襲ったフロリダ州沿岸地域



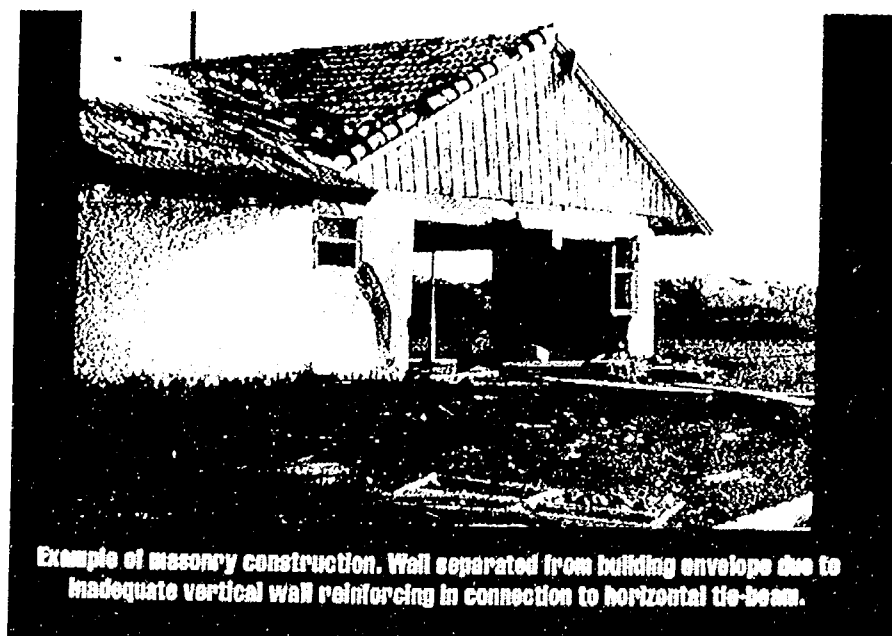
写真－4 ハリケーンアンドリューにより建築物が大きな被害を受けた地域



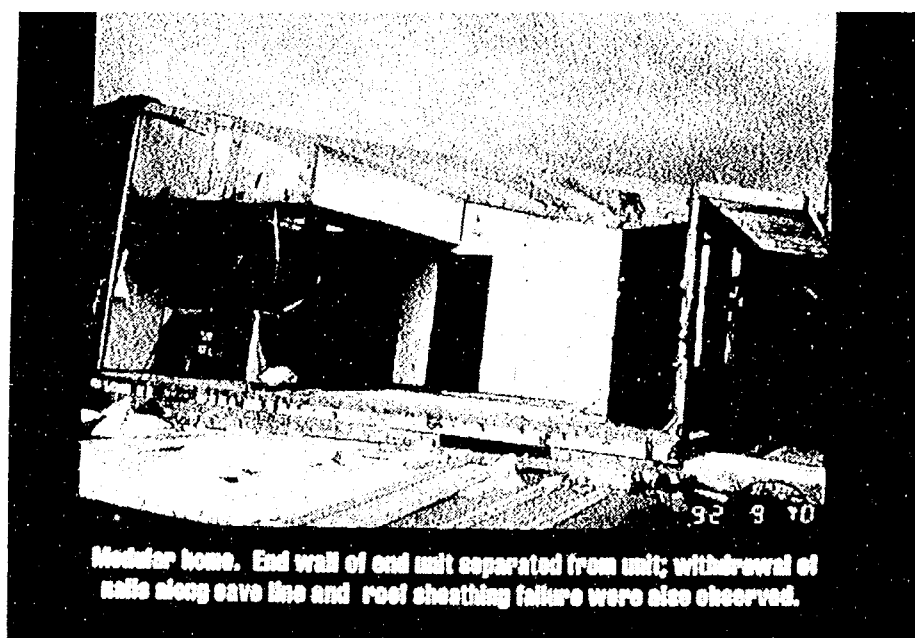
写真－5 典型的な屋根破風の倒壊



写真－6 外壁の倒壊



写真－7 れんが造建物の倒壊



写真－8 モジュール住宅の壁の損傷



写真－9 典型的な屋根の損傷事例



写真－10 屋根のこけら板の損傷

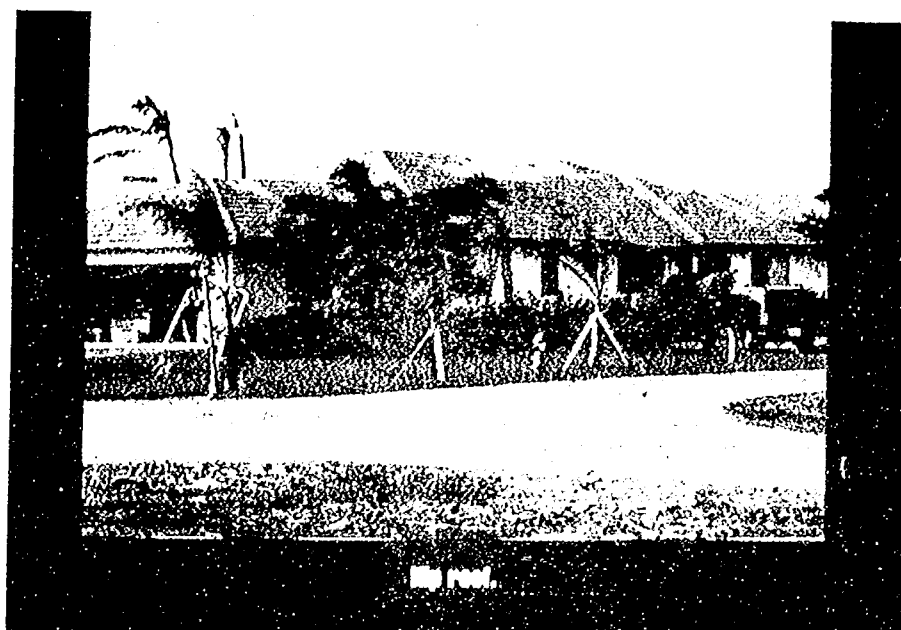


写真-11 耐風性に優れた寄棟屋根

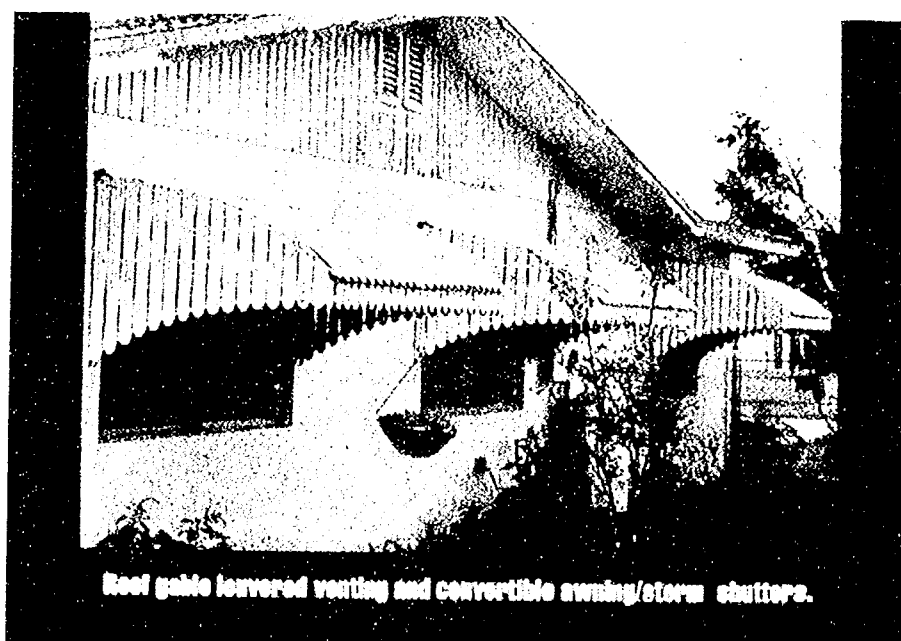


写真-12 窓を強風から保護するよろい窓

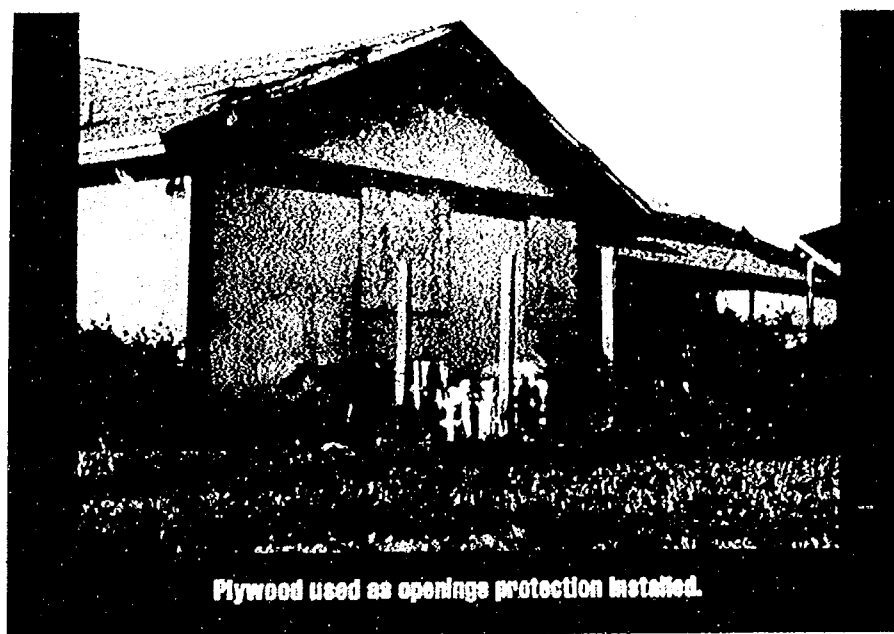


写真-13 ハリケーン時の窓の倒壊に対する対策事例

最終的に勧告案がいくつか出されております。南フロリダ建築基準では、もっと耐風性を増すように、また風力の伝達機構を改善するように勧告しています。それから、建築構造部材の改善としまして、窓、ドア、被覆材に関して改善勧告を出しております。また、この建築審査に対しては、免許を持った専門家によって、適切な検査を行う必要があります。そして、管理体制や地理情報システムも改善していく余地があります。政府、民間、建築技術者が協力して施工技術を学び改良を図っていくこと、建築検査官の検査内容の見直しを行うこと、また、建材の品質テストの手法についても今後改善していく必要があると思います。

1. The first part of the paper discusses the importance of the study of the history of the United States. It is argued that the study of the history of the United States is essential for a full understanding of the country and its people. The paper then discusses the various methods used by historians to study the past, including the use of primary and secondary sources, and the importance of critical thinking in the study of history.

2. The second part of the paper discusses the importance of the study of the history of the United States. It is argued that the study of the history of the United States is essential for a full understanding of the country and its people.

3. The third part of the paper discusses the importance of the study of the history of the United States. It is argued that the study of the history of the United States is essential for a full understanding of the country and its people.

4. The fourth part of the paper discusses the importance of the study of the history of the United States. It is argued that the study of the history of the United States is essential for a full understanding of the country and its people.

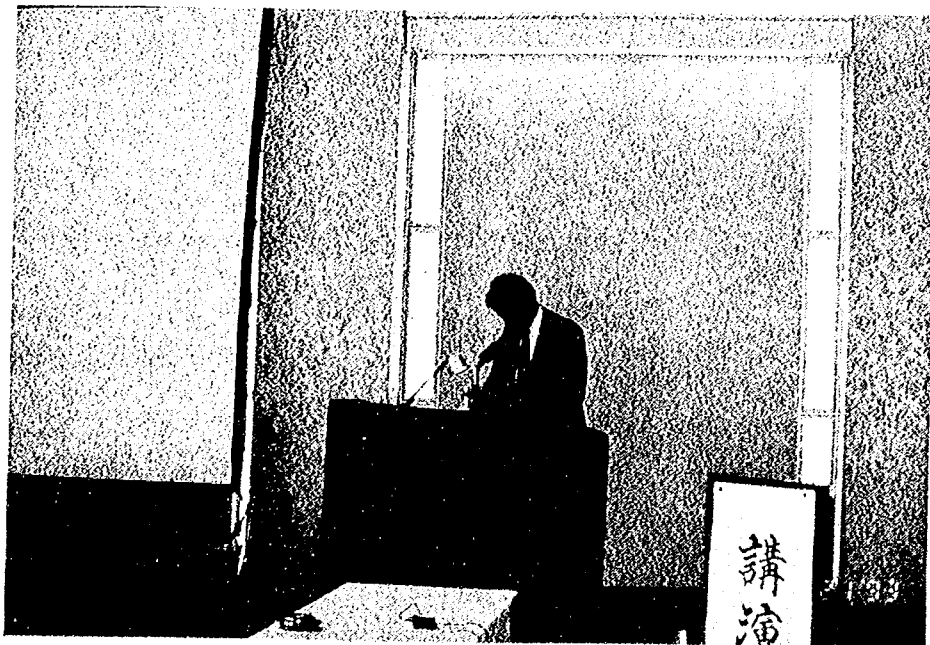
5. The fifth part of the paper discusses the importance of the study of the history of the United States. It is argued that the study of the history of the United States is essential for a full understanding of the country and its people.

閉会挨拶

建設省国際防災の10年推進室長 振井茂宏

本日は諸先生方におかれましては、お忙しい中、本講演会にご出席いただき、貴重な御講演をいただきまして、本当にありがとうございました。

また、本日この会場にお集まりの皆様方におかれましても、最後まで熱心にお聞き取りいただきまして、ありがとうございます。おかげさまで本講演会を無事終了することができました。



1990年1月から、「国際防災の10年(IDNDR)」が、国連の決議により始まっております。国際防災の10年は、世界の特に開発途上国の自然災害による被害を少なくするために、国

連を中心に世界各国が、共に手を携えていこうという運動でございます。

我が国は、これまでに地震、洪水、火山噴火といった様々な自然の脅威にさらされ、多くの人命や財産が失われてきました。そしてこうした自然災害に対する対策を着実に進めて参りました。

日本の国際貢献が強く求められている現在、防災分野においても国際協力を更に推進していく必要があります。

ご参加の皆様におかれましても、本講演会参加を契機としまして、国際防災の10年の活動につきましてご理解、ご協力を賜りますようお願い申し上げます。

最後になりましたが、本講演会の開催、運営にご協力を頂きました関係各位の方々に厚くお礼を申し上げまして、閉会の挨拶といたします。

国際防災の10年特別講演会
UJNR耐風耐震構造専門
部会25周年記念

ISSN 0386-5878
土木研究所資料 第3221号
平成5年11月 (1993)

建設省国際防災の10年推進室・土木研究所

要 旨

国際防災の10年とUJNR耐風耐震構造専門部会25周年を記念して平成5年5月21日に開催された特別講演会の講演概要を取りまとめた。

キーワード：国際防災の10年、UJNR耐風耐震構造専門部会、地震、台風、ハリケーン

郵便はがき

41円切手を
はって下さ
い

3 0 5 -

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

動土質研究室
行

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第 3 2 2 1 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印

○