

第2回世界地震工学会議の話題

棚 橋 諒

BRIEF NOTES OF THE SECOND WORLD CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING

by Dr. Eng. Ryo TANABASHI

Synopsis

A brief introduction and review was made on some papers submitted to the 2nd World Conference on Earthquake Engineering, held at Tokyo and Kyoto, Japan, on July 11th through 18th, 1960.

The writer's attention has first been focused onto the subjects of earthquake resistance of large-scale structures such as long-spanned suspension bridges and arch dams. Studies on earthquake response of buildings of steel, timber, or reinforced concrete frames were interested, and importance of the elasto-plastic characteristics, as well as structural damping, of the structures was greatly emphasized.

Then, comments were given on the earthquake resistant regulations of the world, and some criteria of the Japanese structural standards were criticized, with a hope of prompt revision or improvement.

本年（1960年）の7月11日から18日まで約1週間に渉りまして東京と京都において第2回世界地震工学会議が開催されました。この会議の第1回目は1956年6月に米国 California 州の Berkeley という所で行なわれたのでありますが、その席には日本からも10人余りの代表が参加致しました。京都大学からは代表として私が出席し、5日間の日程による熱心な研究討議や見学に加わりました。その会議では私は構造物が激しい地震のために非弾性的な挙動つまり非線型振動を行なう模様について発表して^{1),2)} 参つたのでありますが、これには現在 Los Angeles の University of California へ行つておられる小堀助教授その他私の研究室の人々の協力による解析結果も付け加えて、私が1934年当時から研究して参りました構造物の耐震性に関する基本的な考え方を紹介して来たのであります。

第1回の会議に集まつた世界各国の研究者代表の総意で次の会議を我が国で開催されることが切望されたのでありますが、これが日本学術会議や研究諸団体、その他各方面の人々の絶大なる御協力を得て、前に申しましたように東京で研究論文の発表や討議を行ない京都においては Business Meeting と閉会式が行なわれる運びとなつた訳であります。今度の第2回目の会議は参加者も国外から129名（26ヶ国）、国内371名と総計500名となり、会議に提出された論文も113篇の多きを数えました。したがって限られた日程でそれらをできるだけ多く口頭発表して頂くために東京の会議では講演会場を二つに分けて、第1会場では主として構造物の地震時の振動性状、耐震構造と耐震規定に関する研究論文の発表および討議が行なわれ、また第2会場では地震と地域区分や地盤基礎条件と耐震性の問題が検討せられ、そして最近の強震と震害に関する報告などがなされました。ですから私自身も第2回世界地震工学会議で発表された論文のすべてを聴いた訳ではありませんのでこの会議に提出された研究論文を総括してここで御話しすることはできませんが、私が会議で聴いた範囲の中から特に重要と思われる研究、興味ある論文の若干から話題を選んで御話

したいと思います。

まず、構造物を崩壊せしめるような激しい地震動が何時起きるか、その発生を予知、予報することは今後に残された難しい問題ですが、かかる強烈な地震動が土木構造物に作用した場合にどうなるかという研究の中で注目すべき論文を二つ三つ拾って見ますと長大なつり橋の耐震性の問題を理論的に考察された京都大学工学部土木工学教室の小西先生の論文⁹⁾が重要なものと思われます。全長が2 km 以上にも及ぶ長径間の構造物はもし地震のために崩壊するようなことがあります、それは人的あるいは経済的に著しい損失となるのでありますが、そのような構造物の耐震性の問題は、従来、建築構造物程には詳しく論じられておりませんでした。ですから、かかる構造物に対してそれが大きな地動変位を受ける場合の挙動を数理的に深く研究されましたことは特に敬意を払うべきもので、その論文の中で小西教授があえて地震度の加速度値に注目せず地動変位をもつて解析の対象とせられましたことは、つり橋のように大きな、周期の著しく長い構造物に対しては通常の激しい地震動の作用というものが地震の波のもつ変位の値に左右されて、最大加速度の値にはあまり影響されてないところからでありまして、この研究の成果は大いに注目されるべきものと思います。

同様に広大な重力ダムの耐震性について発表せられたいくつかの論文の中で神戸大学の畑中教授の御研究⁴⁾はダム構造物の規模効果を考へて、地震波が構造物の各部には位相差をもつて作用するという境界条件のもとに取扱われたことに変々興味のもてるものであつたといえましょう。このような境界条件の想定によつてなされた解析結果は広大なダム構造物の全体が同じ時刻にすべて同じ方向に動こうとする地動の作用を受けると仮定して行なわれた研究よりもさらに現実に近い答をわれわれに与えて呉れる筈です、そこからはより一層合理的な耐震設計法が生まれて来ることは疑いありません。つり橋の問題にせよダムの問題にせよ、私が前々から唱へて来た地震波と構造物の規模効果¹⁾という事実と密接に関連したものでありまして、これは決して見逃がしてはならない事柄なのであります。

今回の会議で発表された論文の中で、通常の建築構造物を対象としてその地震応答を求めたものが相当な数に上つたように見受けられました。数個の自由度をもつ多質点系に抽象し得る構造物が地動を受けた場合の構造物の変位や速度の時間的な変動を求めるためにアナログ・コンピューターやデジタル・コンピューターが広汎に活用されたことは解析手段の進歩という面から大いに興味を惹かれるものでありますが、もう一つの特色はこれらの研究ではすべて構造物の塑性的な力学的性質が非常に重要視されているということでありましょう。御承知のように鋼材や木材、鉄筋コンクリートなどの構造部材はいずれも弾性—塑性的な力学的性質をもつものでありまして、これらによつて構成せられた構造物も強い地震動を受けた場合に非弾性的な復元力特性を示すのであります。そして構造物の崩壊は構造部材の応力が弾性限界を超えたときに始まるものではなくて、そのときには構造物は未だ相当の余力をもっているのであります。いい換えれば構造材料のもつプラスチックな性質が構造物の耐震安全性を非常に高めていると申せましょう。ですからプラスチックな応力の領域における構造物の地震応答を調べることが合理的な耐震設計法を確立する上にも重要な事柄となつて来るのであります。

最初に申しました第1回世界地震工学会議に私が提出した論文はこの問題に関連したもので、当時はまだこの分野の研究も少なかつたのでありますが、今日では非常に多くの研究者が電子計算機を駆使して解析された結果を発表されるようになって来たのは大変喜ばしいものといわなければなりません。中でもアメリカのMichigan大学のBerg教授とThomaidis氏¹⁰⁾やCalifornia大学のPenzien教授⁷⁾がデジタル・コンピューターを用いて既往の大地震の地震計記録による地動をある抽象化された構造物に作用せしめて大なる解析結果を発表された御努力は賞讃に値するものと思つております。またIllinois大学のNewmark教授とVeletsos教授⁸⁾はやはり類似の方法で得られた単純な振動系の地震応答の計算資料に基づいて構造物のductility、つまり弾性限度を超えた状態にある構造物が崩壊までに許し得る変形を問題にしておられるのは非常に興味深いものでありました。

ただ、これらの研究論文の中で構造物の弾性域において存在する粘性減衰を重視したものが若干見受けられたのでありますが、私自身はこれに対して少し疑問をもっております。構造物はその性質として実際に若干の粘性減衰性をもっていることは事実でありますし、たとえば機械のシャフトやタービン翼のように定常振動を行なう振動体では粘性摩擦の存在は定常振動時の振動系の振幅、ひいてはその振動体内の応力を小さくする効果があることは明らかですが、地震のように短時間の中に終ってしまう現象においては骨組の応力の弾性域で存在する粘性摩擦は果して有効に、つまり構造物の破壊を強力に防止する方向に、働いて呉れるだろうかという疑問が残るのであります。

この問題について私はずっと以前に若干の考察を試みたことがあります⁹⁾、いま仮りに構造物が完全な弾性体であるとして、これが Fig. 1 (a) に示すようにこの構造物の周期に同調する正弦型の地動を受けるものと致しますと、粘性減衰のない構造物ではその変位の時間的変動は Fig. 1 (b) の①のようになり、振幅は時間とともに直線的に増大して、遂にはこの構造物は破壊してしまうと見られるのであります。ところが構造物に粘性減衰が存在します場合には、同調する地動によつて構造物の振幅は Fig. 1 (b) の②に示すように exponential な曲線を包絡線として増大して行くことになります。ここで地震動は非常に過渡的なもので、構造物の周期に同調する地震波の作用時間は極めて短かいことを考え併せると、現象としては Fig. 1 に示した地動がほんの2, 3サイクル作用する間だけが問題でありまして、この範囲においては粘性減衰があろうとなかろうと地動によつて生じた振幅の大きさは大して影響されないといわなければなりません。

このような考察からは振動速度の1次のベキに比例する粘性摩擦を構造物に賦与しよう

とすることは無意味であり、また構造物の応力が弾性範囲においてもつところの粘性減衰の効果を大きく評価し過ぎることは危険であるといつて良いでしょう。

しかし骨組の応力が弾性域を超えた辺りでの構造物の復元力-変位曲線は一般に履歴性状を示し、しかもそれは構造物の変形が大きくなればなる程顕著になつて来るのが普通であります。そして構造物の振動の1サイクルごとにその復元力-変位曲線は一つの不規則な形のループを形成し、このループ内の面積に等しいエネルギー量が構造物の全振動エネルギーから吸収されます。つまり構造物のプラスチックな性質のために構造物からその振動エネルギーの若干が振動の1サイクルごとに失われる訳で、このために構造物の振幅があまり増大せず、構造物の周期もかなり伸びるという非常に都合なことが生じて参ります。すなわち構造物のプラスチックな減衰、つまり構造減衰と呼ばれているものが構造物の粘性減衰よりもはるかに重要性を有するといつて差支えありません。

私の講演のすぐ後に発表される金多助教授の研究はこういったプラスチックな構造減衰に関連したもの

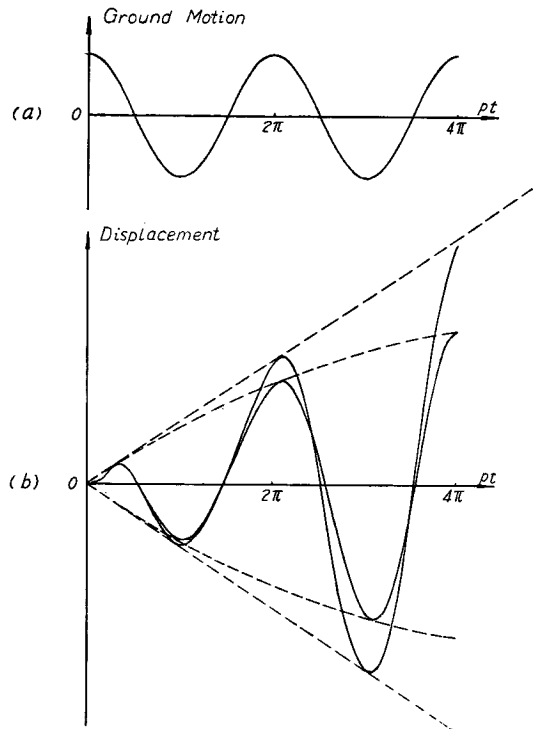


Fig. 1

であります。今回の会議でもアメリカの Stanford 大学の Jacobsen 教授の論文¹¹⁾は鉚接鋼構造や木構造のような組立架構におけるこういった構造減衰の重要性とその定性的、定量的な評価に関して包括的な御研究を纏められた貴重なものでありました。

構造物のプラスチックな性質を十分考慮に入れて、その破壊までに貯え得るポテンシャルエネルギーを考へて、limit analysis によつて構造物を設計する、そしてその設計の拠り所としては standard velocity response spectrum を使うという米国 C.I.T. (California 工科大学) の Housner 教授の論文¹²⁾は今後の耐震構造の行き方に一つの指針を与えるものとして注目されましたが、この他に会議では耐震設計の実施例や振動実験の結果などが数多く報告され、興味あるものも少なくなかつたと記憶しております。

この会議ではまた耐震構造物の設計規準に関して各国からそれぞれ現行の規準¹³⁾そしてまた新しい規準案が発表されました¹⁴⁾。これらの設計規準を眺めて見ますと、各国の自然条件や国内事情などによりまして規定の内容そのものに特色が出ております。一般に、過去において大きな地震を受けた国ほど完備した耐震規定が設けられているのは当然であります。面白いことにはポルトガルやメキシコなど新しく法的に定められた規定をもつ国ほど規定の中に合理的と思われる条文が多いことが認められます。これは新しい法規を作るときに他国の耐震規定を参考とするからであり、またそのときまでに発展している耐震工学の成果を十分にいれるからと申せましょう。

わが国の規定は諸外国のそれと並べて比較して見ましたとき、遺憾ながら優れているとはいえないようであります。というのはわが国の規定の大綱が定められましたのはかなり古いのでありまして、したがつて、でき上つたときには非常に立派なものであつたのですが、その後諸外国が日本の耐震規定を御手本にして、しかもそれを上廻るべく新しい耐震工学の知識をどんどんと採り入れてその規定を作つてしまつたからであります。元来、法律というものは、耐震規定以外の法律でもそうであります。一旦定められてしまうと余程のことがない限り仲々改正され難いものであります。耐震規定もちょうど着物と同じで流行があるので、ただこの場合は一旦着てしまうと仲々それを脱いで新しい着物に着換えるということが簡単に参りません。日本はその耐震規定という着物を早く着てしまつたために、外国がそれ以後つぎつぎと新しい流行の着物を着始めてもそれについて行くことができずに今だに一番流行遅れのもので我慢しているというのが現状のようであります。

それではわが国の耐震規定のどこが古いかと申しますと、この規定はもともと低層の、欧米の建物から見れば比較的小規模の構造物を対象として制定されましたので、この規定を守つて高層の建築物を設計しようとするとうとうしても不経済なことになつて来るのであります。しかし健全な国土開発、近代的な都市計画をうまく行なうためには、どうしても現状よりも高層の、大規模な建物を建てることも必要となつて参りますが、現行のわが国の耐震規定では建物の階数を多くすると結局必要以上に断面の大きい柱やはりをもつたものを設計せざるを得ないのであります。実際そのように大きい断面の柱、はりをもつ構造物は柱やはりの細い構造物よりも耐震安全性が高いかといいますと決してそうではありません。ですから、不合理な耐震規定はいたづらに不経済な構造物を作らせるのみでありまして、このことはひいては国民一人一人に不必要な支出を要求する結果となるだけであります。

高層建築物を合理的に設計し得る耐震規定を作ることは、ですから、非常に重要な課題でありまして、それにはわが国での国土事情や特殊な自然条件を考へた耐震工学の急速な発達が見られるのであります。このために実際に高層の実験家屋を建てて見るとか、計算機や実験設備を調えるとか、その他いろいろの研究費が是非必要であります。このため政府の方でも問題の重要性に鑑みて研究費予算などの面において一層の御協力を御願ひしたいのであります。

私の話も別に順序立てて総括的に申し上げた訳でもございませんが、時間の都合もありますので最近の第2回世界地震工学会議の話題をこの辺で終りたいと思います。

皆様御静聴を感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Tanabashi, R. : "Studies on the Nonlinear Vibrations of Structures Subjected to Destructive Earthquakes", Proceedings of the First World Conference on Earthquake Engineering, Berkeley, California, June 1956, Earthquake Engineering Research Institute, pp. 6・1-6・16.
- 2) 棚橋諒, 「激震に対する建築架構の終局耐力」, 京都大学防災研究所創立5周年記念論文集, 昭和31年11月, 106~115頁.
- 3) Konishi, I. and Yamada, Y. : "Earthquake Responses of a Long Span Suspension Bridge", Preprints of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo and Kyoto, Japan, July 1960, pp. 78・1-78・16.
- 4) Hatanaka, M. : "Study on the Earthquake Resistant Design of Gravity Type Dams", Preprints of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo and Kyoto, Japan, July 1960, pp. 82・1-2・16.
- 5) 棚橋諒, 「建物の大きさの安全性に対する効果」, 日本建築学会研究報告第33号, 第1部, 昭和30年10月, 235~236頁.
- 6) Berg G. V. and Thomaides, S. S. : "Energy Consumption by Structures in Strong-motion Earthquakes", Preprints of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering, July 1960, pp. 40・1-40・16.
- 7) Penzien, J. : "Elasto-plastic Response of Idealized Multi-story Structures Subjected to a Strong Motion Earthquake", Preprints of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering, July 1960, pp. 43・1-43・22.
- 8) Veletsos, A. S. and Newmark, N. M. : "Effect of Inelastic Behavior on the Response of Simple Systems to Earthquake Motions", Preprints of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering, July 1960, pp. 49・1-49・18.
- 9) 棚橋 諒, 「振動減衰率の持つ耐震効果を吟味す」, 建築雑誌, 第56輯第691号, 昭和17年10月, 779~780頁.
- 10) 金多 潔, 「エネルギーの観点から単純な振動系の減衰性状を評価する一方法」, 京都大学防災研究所年報第4号, 昭和35年12月, ○~○頁.
- 11) Jacobsen, L. S. : "Damping in Composite Structures", Preprints of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering, July 1960, pp. 41・1-41・16.
- 12) Housner, G. W. : "The Plastic Failure of Frames During Earthquakes", Preprints of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering, July 1960, pp. 36・1-36・16.
- 13) Organizing Committee, Second World Conference on Earthquake Engineering, "Earthquake Resistant Regulations of the World-1960", Gakujutsu Bunken Fukyu-kai, June 1960, 1-210.
- 14) たとえば Binder, R. W. and Wheeler, W. T. : "Building Code Provisions for Aseismic Design", Preprints of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering, July 1960, pp. 39・1-39・33., and Otsuki, Y. "Design Seismic Forces for Reinforced Concrete Buildings", Preprints of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering, July 1960, pp. 91・1-91・16.