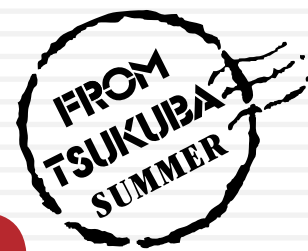


BRI NEWS

Epistula

えびすとら



建設省建築研究所
Building Research Institute

Vol. 25

発行：1999. 8

設計用地震力

耐震設計で使う設計用地震荷重は、設計震度などにより静的な地震力として与える方法と、もう少し源流を遡って地震動として与える方法の2種類があります。実際には、現行建築基準法で決められている層せん断力係数のように、直接地震力で規定する場合があります。

しかしながら構造設計の作業において計算機の利用が常識となった現在では、構造が少し複雑な建築物や、重量や剛性分布が一様ではない建築物の場合には、地震動を作用させて各部分に作用する地震力を算定した上で、部材設計を

進める場合があります。

ここでは地震力による方法と、地震動による地震荷重の算定における問題点について考えてみることにします。

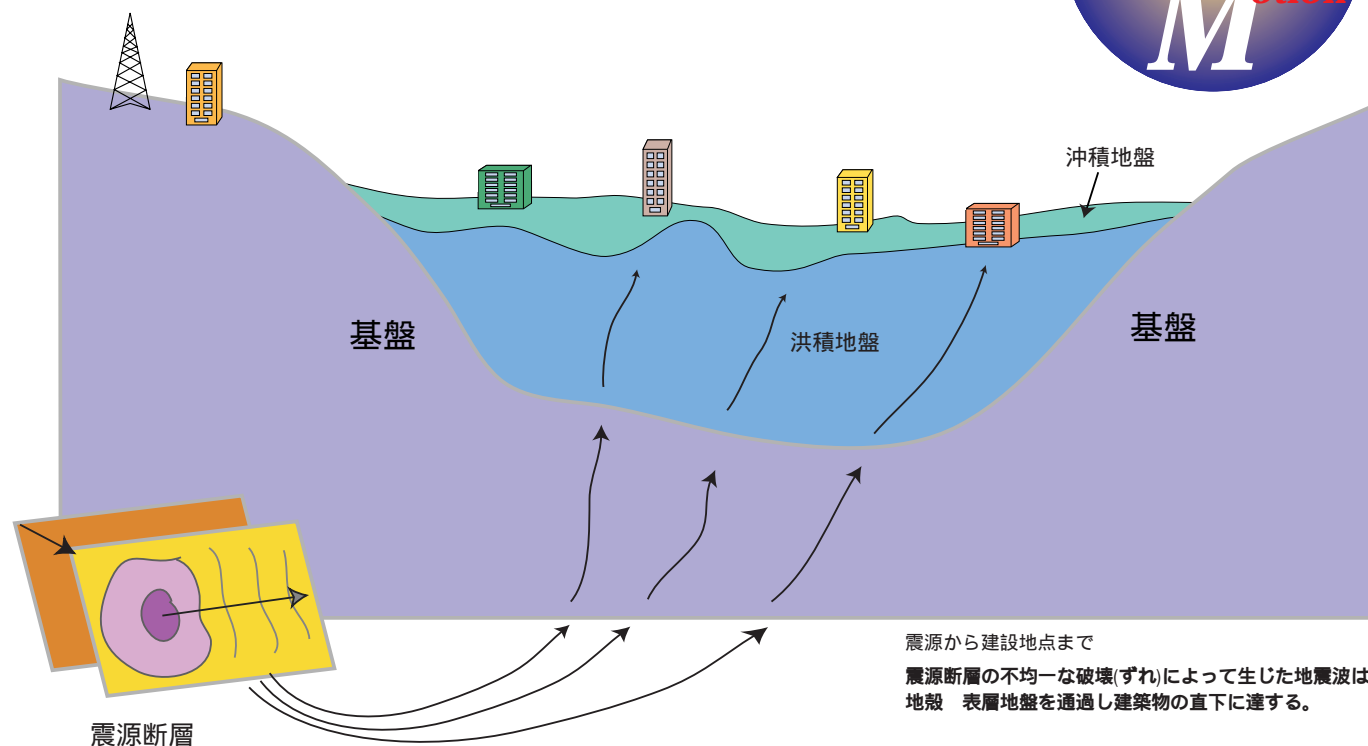
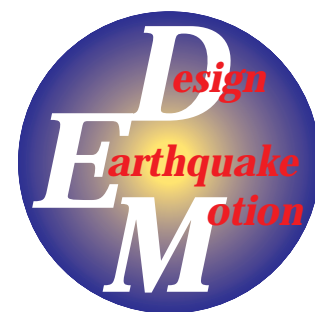
建築物の種類や特性によって地震力による構造設計をするか、あるいは地震動を用いるかは違ってきます。簡略化された静的な力として設計用地震力を設定するためには、対象建築物をある程度限定する必要があります。どんな建築物に対しても適用可能というわけではありません。これは、建築物といっても戸建て住宅から超高層建築物まで多種多様であることに加えて地震動特性の予測精度がなかなか上がらないこ

ともによります。したがって限定範囲に入らない建築物は、これらの一般化された方法の適用範囲外ということになり、もう少し詳細な検討が必要になります。

このような簡略的な地震力で与える方法では、いわゆる静的解析による方法（震度法や修正震度法）を用いることとなります（図1）。

これに対して、やや詳細検討になる地震動を用いる方法では応答スペクトルや地震動時刻歴が必要になります。この方法を動的解析法といいます（図2）。

特集 設計用地震力と設計用地震動



地震動に基づいた地震力の算定

応答スペクトルを使いますか、それとも時刻歴？

そもそも一昔前までは、地震動を用いる動的解析法を一般建築物に適用することはまず考えられませんでした。というのは、計算機のパフォーマンスも現在とは全く違っていただけです。また、それに伴って解析方法自体もあまり発達していませんでした。

地震動を利用した方法がパソコンレベルでも容易に使えるようになったのはつい最近のことです。

このように選択肢が多数ある今日、設計者はどのような判断で解析方法を選べばいいのか、また同時に設計者として地震荷重をどのように決めていけばいいのでしょうか。

当然のことながら、時刻歴などを使う動的解析と比較して、静的解析では実際の地震動の性質をそれほど細かく表現できません。この場合には代表的な特性だけを設定することになります。逆にいうと、この方法でも十分に安全性が確保される建築物というのは、世の中に多数あってその性質は大体わかっていて、今までに実験、観測、解析などにより、簡略的な計算でも特に大きな誤りがないことが確かめられている建築物でもあります。したがって、最小限のデータをインプットするだけでも構造物の地震時挙動をほぼ推定できるものです。静的解析による方法のもう一つの特徴は、地震力がいきなり応答により決まっていることです。すなわち地震力は建築物の性質に依存して決められるということです。これに対して、以下に説明する動的解析法では建築物の性質によらない地震動を決めるところから作業が始まります。

動的解析に用いる入力地震動は、一般に応答

スペクトルかあるいは時刻歴で表現されます。前の地震力の場合とはちがって周波数特性などが表現できるので、応答スペクトルは設計震度などよりもっと地震動を明確に表しているといえます。地震動強さと振動数特性の両方を表現できる。応答スペクトルで不足しているもの一つとして時間変化に関する情報があげられます。地震動波形としてはどのような特徴を持っているのかという経時特性や継続時間についてはなら情報を含んでいません（図3）。

応答スペクトル法

応答スペクトルは、（図3）に示すようなもっとも単純な一質点系（一つの固有周期と一つの減衰定数で特性が決まる）と呼ばれるモデルが、地震動を受けた場合に生じる最大の応答値（加速度や速度、あるいは変位でもよい）をその固有周期に対して描いた図のことです。この図は1質点で表される単純な構造物の最大応答を示しているにすぎません。しかし、この応答スペクトルを使って多質点系の最大応答も推定することができます。これが応答スペクトル法と呼ばれる方法です。多質点系の場合には、固有モードといってそれぞれの建築物に固有の複数の振動形が決まり、地震応答はそれらを地震動の強さに応じて足しあわせたものとなります。この地震動の強さというのが、それぞれの固有モードに対応して固有周期（振動数）に対して求められる応答スペクトルです。固有モードはその固有周期が長い順に1次モード、2次モード...と呼ばれます。実際にはほとんどの場合1次モードが支配的ですが、通常の建物では大体最

初の3次モード程度までを考えれば十分だといわれています。

応答スペクトルを用いた多質点系の最大応答の推定方法は今までに幾通りかの提案があります。それらを表1に示しますが、このうちもっとも一般的なのが、SRSS(Square Root of Sum of Squares)法と呼ばれるものです。最近では固有モードの重なり具合をより実情に近い形に推定するように精度を向上させたCQC法も使われています（表1）。

応答スペクトルの定義は特定の時刻歴波形に対するものですが、設計に用いられる応答スペクトル（単に設計スペクトルと呼ばれることもある）は多数の地震記録による応答スペクトルを包絡したものであるというように意味合いで使われることがあります。もちろん、設計スペクトルが具体的な地震のイメージを伴って作られている場合には、対応する時刻歴波形を想定することも容易です。

時刻歴解析法

時刻歴解析法というのは、地震動としての時刻歴を作用させ、応答も時刻歴として算定する応答解析の方法です。この方法では当然のことながら入力として地震動時刻歴が必要となります。実際適当な強震記録があればそれをそのまま使うことは可能ですが、設計用地震動として、その敷地に適した地震動が観測記録としてあることはめったになく、通常は記録の最大振幅や振動数特性を補正して所要のものを作るとか、前述の設計用スペクトルが決められていれば、それに適合するような模擬地震動波形を作成して使用する方法が用い

られます。ここで注意しなければいけないのは地震記録を使う方法です。昔から設計用地震動の代名詞のようにになっている1940年エルセントロ地震波ですが、あれは米国カリフォルニア州のエルセントロという場所にある変電所施設の建物の地階でとれた記録です。この記録をたとえば全く地盤条件の異なる東京下町軟弱地盤上の建築物にそのまま使うのは間違いです。こんなことがないように、できるだけ地盤条件などを立地、設置条件が似た記録を使うことが大事です。

地震記録ではなく建設地点の立地条件に適した設計用地震動を作成する場合もあります。

このような場合の地震動の作成手法については建設省建築研究所と（財）日本建築センターとの共同研究の成果として「設計用入力地震動作成手法技術指針（案）」が公表されていますので、興味のある方はご覧ください（作成法のフローについては図4参照）。

設計用地震動の作成方法もさまざまなものがあり、最近では特定地震（震源）からの地震動をシミュレートして使用することも行われています。たとえば震源となる断面での破壊を想定し、それによって生ずる地震動を計算機上で作成する事も可能です。

時刻歴を作成するには波形を特徴づけるパラメータを多数決める必要があります。そのため相当量のデータが必要になりますが、いつもこれらを精度よく決められる訳ではありません。それらを乏しいデータから決める必要がある場合が多いです。

時刻歴をこのような検討に使用する時に注意すべきことがもう一つあります。地震動時刻歴は無限にある同様な地震動の中の一つにすぎません。サンプルとして抽出される各地震動は相互にばらつきます。地震動を特徴づけるパラメーターのうち確定的に決められないもの、たとえば破壊の発生から波動伝播の過程に含まれる種々の不確定量

などは乱数を使って表現します。同じプログラムを別の乱数の組み合わせでもう一度実行すると、別の地震動が作成されます。しかし統計的には、これも前に作ったものと同等な性質を持っていることとなります。地震動のある統計モデルのサンプルとして作成する場合には少数のサンプルだけでは当初想定したモデルを実現していることにはならないのです。したがってこのような場合には少なくとも数波の地震動を作成して応答解析をすることが必要と考えられます。

また同時に、これらのばらつきが何に起因するものかをはっきりさせておくことも重要です。

まとめ

実際の設計に際して時刻歴まで作成して応答解析を行うのは、かなり限定された建築物です。すなわち、あまり前例のない特殊な建築物、あるいは複雑な構造をしているもので応答の一般的傾向がまだ掴み切れていない建築物、建築物内部の設備等への入力となる地震動（床応答といわれる）を求める必要がある建築物、また実際の終局挙動を検討するために非線形応答解析を使う必要がある場合に等に際しては時刻歴が必要となります。

地震力と地震動という2種類の地震荷重の形態は、いま述べてきたメリット、及びデメリットを持っています。さらには一方のデメリットは、他方のメリットのような関係にもあります。前述のように地震動として与えられる場合には、基本的にどのような建物にも適用できます。これに対して地震力で与える方法は、適用できる建築物が限定されてきます。さらに地震動の性質や建築物の応答特性が震度というような単純な特性で表現しきれないかどうかを考えなければいけません。これに対して、地震動を時刻歴として表現する場合は、予測のための各手法の信頼性はどうかという反対側の疑問もあります。

いずれにせよ共通にいえることは、両手法とも根拠となる地震動予測の信頼性に依存していることです。応答解析の精度はモデル化や材料特性の精度に依存しますが、設計の妥当性は入力地震動の設定が妥当かどうか大きく依存します。

先に地震動のばらつきについて述べました。今日これだけパソコンの性能が上がり、逆に値段は下がる状況において、過去の計算尺、一昔前の電卓のような感覚でパソコンを使いこなせる若い人が増えています。また、データさえそろえば、より複雑なモデルでも解析にのせることはそれほど難しいことではありません。このように機械的な部分、つまり人間の判断のいらぬ部分はいくらかでも計算機任せにすればよいと思います。この過去に比べて遙かに短時間で結果が出るという状況では、種々の不確定要因がどの程度地震応答に効いているのかをシミュレーション計算で確認することができる場合があると思います。

地震動をやたらに複雑にする方がよい設計ができるというわけではありません。地震動のうちのどの特性が一番効いているのかをはっきりさせ、構造安全という立場からあまり重要ではない地震動の特性は無視することも可能でしょう。すなわち、地震学の知見に基づくことは当然ですが、地球物理学的な観点からいう予測地震動と、構造設計の観点から設定される設計用地震動は結果として必ずしもおなじでなくてもよいと思います。

以上述べた諸点を考えることで今後よりよい設計用地震動のモデルが構築されると思っています。

一般の設計者でも応答スペクトル法程度は使えるようになってもらいたいと思います。

これはこの計算法が単に使えるという意味ではなく、応答スペクトルというものを十分理解する事も前提としています。

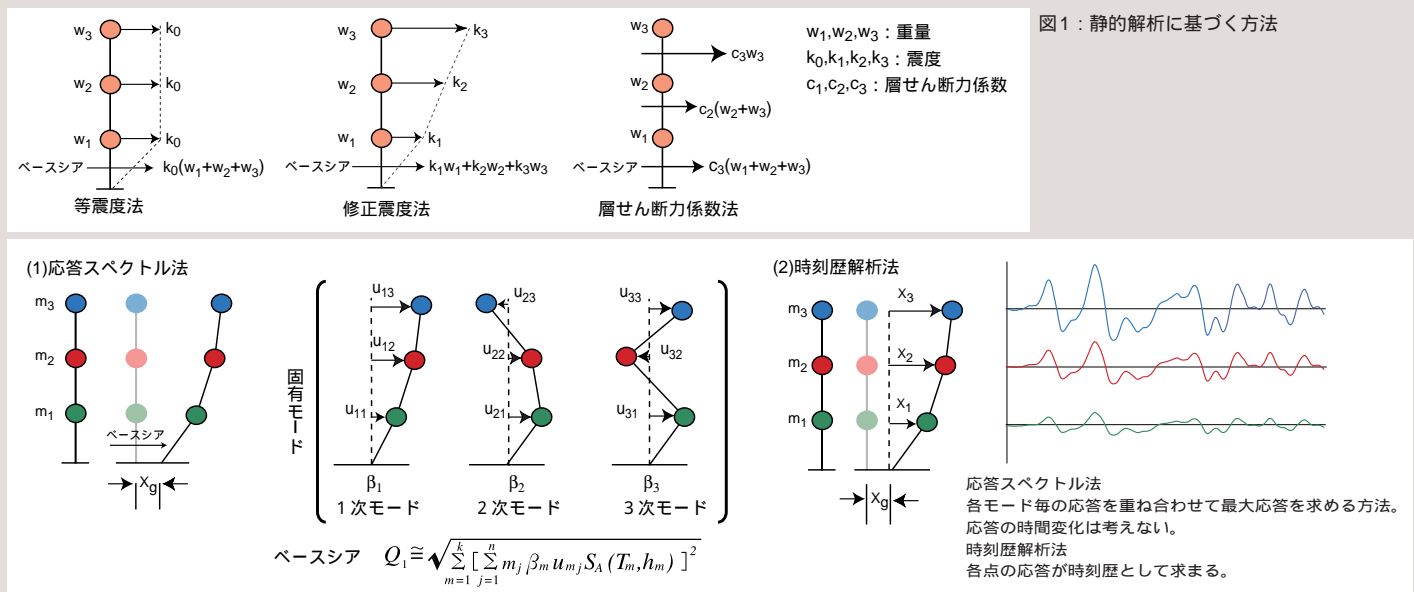


図2：動的解析の方法

図1：静的解析に基づく方法

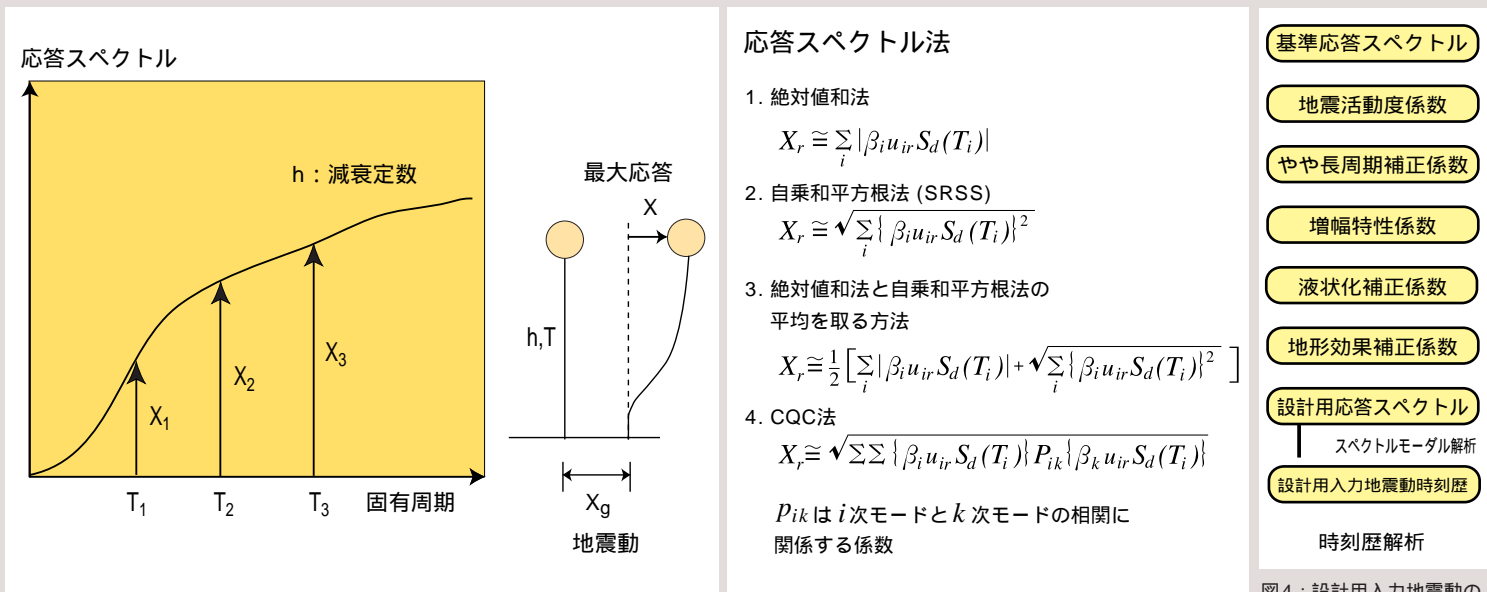


図3：応答スペクトル

応答スペクトル法

- 絶対値和法

$$X_r \cong \sum_i |\beta_i u_{ir} S_d(T_i)|$$
- 自乗和平方根法 (SRSS)

$$X_r \cong \sqrt{\sum_i \{\beta_i u_{ir} S_d(T_i)\}^2}$$
- 絶対値和法と自乗和平方根法の平均を取る方法

$$X_r \cong \frac{1}{2} \left[\sum_i |\beta_i u_{ir} S_d(T_i)| + \sqrt{\sum_i \{\beta_i u_{ir} S_d(T_i)\}^2} \right]$$
- CQC法

$$X_r \cong \sqrt{\sum_i \sum_j \{\beta_i u_{ir} S_d(T_i)\} \{P_{ik} \beta_k u_{kr} S_d(T_k)\}}$$

P_{ik} は i 次モードと k 次モードの相関関係する係数

表1：応答スペクトル法のいろいろ

基準応答スペクトル
地震活動度係数
やや長周期補正係数
増幅特性係数
液化化補正係数
地形効果補正係数
設計用応答スペクトル
スペクトルモード解析
設計用入力地震動時刻歴
時刻歴解析

図4：設計用入力地震動の評価手順

VOICE

基準認証研究センター

基準認証研究センターは、この4月に新たに「性能システム研究室」が創設されて4研究室となり、他の研究部の研究スタッフで当センターに併任となった方を含めると総勢15名のかなり大きな組織になりました。そのうち6名は、この4月からの新しい顔ぶれです。

研究の方では、平成11年度から5年計画の新しい研究プロジェクト「性能指向型建築技術体系における建築物の性能確保方策に関する研究」が始まりました。従来は、建築基準法の下での建築物の性能確保における様々な問題を研究対象としてきましたが、近年、建築物には最低基準としての建築基準法の要求よりもっと高い性能が求められる傾向にあります。さらに地球環境問題や高齢者対応など、基準法ではカバーされない多様な社会的ニーズに対応することも求められています。

そこで、建築基準法にとどまらず、広く建築物の性能全般について、消費者にもわかりやすい性能表示方法、完成された建築物の保有性能の評価手法、目

標性能実現のための各生産プロセスにおける品質管理の方法、モノと性能との関係がユーザーにもわかるような情報提供の方法など、様々な技術開発と、その技術を利用する実務を助ける「性能システム」の開発を行うことが、このプロジェクトのねらいです。

現在、改正された建築基準法関連の各種技術基準案作成のとりまとめ役として、また、上記研究プロジェクトの推進役として、将来の我国における性能指向型の建築技術体系の実現に向けて、新しい体制で幅広い課題に取り組んでいます。

基準認証研究センターの新体制 (平成11年8月現在)

基準認証研究センター長 国際基準研究室
性能評価試験室
認証システム研究室
性能基準研究室
性能システム研究室

第一研究部

住宅は社会的存在です。つい先日、デザイン関係の国際的なメーリングリストに、「なぜ(英国の)住宅デザインに建築家があまり関与していないのだろう。マウンテンバイクやコンピュータなどはデザイナーが参加していつでも選択肢があるのに、住宅は保守的なのか」という、やや挑戦的なコメントが出され、ひとしきり議論になりました。自転車のように個人の好みで簡単に取捨選択可能なものとそうはいかない住宅とをいっしょにされてたまるか、住宅には住まい手の全人生がかかっているのだぞ、と反論したのですが、さて半歩下がって考えてみると、わが国の住宅はデザイナーに振り回されている気味がなくもないのです。建築士資格を持っている人の割合が日本は他の国に比べて格段に高いとか、住宅寿命が短いとか、注文住宅の割合が多いとか、理由はいろいろあります。普請道楽といわれるように施主の設計要求も細かいし、一方で設計者のこだわりも格別

です。狭くて変形の敷地には標準プランでは納まらないからさ、といういいわけも聞かれます。でも、さまざまな要件に合わせてカスタマイズすればするほど、それは「ある個人」の「ある時点」での好みに適合させることになり、社会的存在、という位置づけからどんどん遠くなっていきます。中古住宅が実は敷地の値段だけで取り引きされているというのは、どうせ気に入らないから壊して建て直すという暗黙の前提があるからです。地球環境の視点に立てば、この「常識」はもはや通用しません。よほどのことがない限り壊してはならないのです。

現在研究を進めている長期耐用都市型集合住宅の検討対象ですが、住宅とはわれわれにとって何なのかという基本に立ち戻って、物理的のみならず社会的にも寿命の長い住宅をどうつくっていくかも議論しています。プロジェクトでの検討課題の一つは構造体(S)と内装(I)の分離、個人の要求と社会的要請との折り合いをつける試みです。

編集後記

今、私が住んでいるのは20年以上前に建てられた13階建ての公務員官舎の最上階。地震時にはよく揺れる。熱帯魚の水槽の水もよくこぼれるので、水槽の横には常にタオルを置いてある。建築構造や地震工学に関しては全くの素人であるため、今回の特集を読みながらふと考えた。最先端の手法で評価すると、今住んでいる官舎はパスするのか?と。勿論、建設当時の最先端の構造計算・構造設計により建てられたのであろうが、そ

の計算はどのようなコンピュータでどの位時間がかかったのであろうか。おそらく今のパソコン以下の性能の大型コンピュータをフル稼働させたに違いない。情報技術の進歩の早さとそれを背景とした建築技術の発展に思いを巡らせていたら、押入に眠っている20年前のパソコンが妙に懐かしく思えて来た。暇を見つけて引っぱりださそうと思う。技術の進歩の大きな落とし穴である2000年問題を実感?するために。(K.S)

TOPICS

春季研究発表会開催

去る5月17日(月)から21日(金)までの5日間、都市防災研究センター棟において、平成11年度春季研究発表会を開催しました。

この発表会は、研究者相互の情報交換、研鑽等の促進および研究成果の蓄積、向上を目的として前年度における研究成果を発表するものです。

山崎所長(当時)の開会の挨拶に続き、火災、建築材料・部材、基準認証、構造、建築計画、建築環境・設備、住宅・建設経済、都市、地震工学、生産技術の各部門単位で発表を行い、最終日の21日(金)に総合技術開発プロジェクト、先導研究及び官民連帯共同研究についての発表を行いました。

今年も、所外から講師の方をお招きして各分野毎に、研究の内容、方向性等についてご意見、ご感想を頂き、延べ約七百名の参加者を得て、大いに議論を行いました。



秋季講演会のご案内

恒例の建築研究所秋季講演会を11月30日(火)、12月1日(水)の2日間の日程で、東京の有楽町朝日ホールにおいて開催します。詳細については、次号でお知らせいたします。

出版のご案内(近刊)

建築研究情報No.3

「都市計画・まちづくり インターネット
ホームページ案内」
(河中俊、篠崎道彦、斉藤圭)

夏空の実験棟と筑波山
Photo K. Bogaki



Epistula

第25号 平成11年8月発行
編集: えびすとら編集委員会
発行: 建設省建築研究所(企画部)

〒305-0802 茨城県つくば市立原1
Tel.0298-79-0642 Fax.0298-64-2989

えびすとらに関するご意見、ご質問をお寄せください。また、バックナンバーは、ホームページでご覧になれます。(http://www.kenken.go.jp/epistula.html)