
— 委員会報告

Committee Report

委員会報告

建設分野からみた数値解析の現状と将来の展望

THE STATE OF NUMERICAL ANALYSIS AND ITS FUTURE SCOPE FROM THE VIEW POINT OF THE CONSTRUCTION FIELD

構造工学委員会 構造力学小委員会 非線形解析分科会

By Nonlinear Analysis Division of Subcommittee on Structural Mechanics, Committee on Structural Engineering

1. はじめに

土木学会構造工学委員会構造力学小委員会に設置された非線形解析分科会では調査研究活動の一環として、昭和63年1月「構造工学における計算機利用と数値解析に関するアンケート調査」¹⁾と題したアンケート調査を実施した。今回のアンケート調査は、官公庁・大学・建設会社・コンサルタンツ・メーカー・一般会社等を対象としており、491通のアンケートのお願いに対して合計293通（回収率約60%）のご回答をいただいている。

本報告は、これらの貴重なアンケート回答結果の中から、特に建設業に携わっておられる実務者の回答に注目し、下記の項目について若干の考察を加えたものである。

① 企業を中心に官公庁・大学をも含めた数値解析の現状……実務に使われている数値解析の適用分野、汎用コードと自主開発コードの利用状況と問題点、解析業務の外注の現状とその将来予測。

② 非線形解析に関する現状と将来の展望……非線形解析実施に関する現状と問題点、非線形解析の実用化に対する要望

2. 建設分野における数値解析の現状

現状の数値解析業務の形態を、対象とする構造物種別に着目し、適用問題・解析次元の面からみしてみる。

図-1は、要因として静的解析・動的解析・過渡応答解析（熱伝導、圧密、浸透問題等）・流れ解析・波動解析とを挙げ、適用問題種別に関する解析の実施状況を示している。ただし、本報告では図-3、図-4を除き無回答を除外して%を算出している。全般的に静的解析が多く実施されているが、わが国の立地条件から土構造、

地中構造、ダム、原子力建屋では動的解析もかなり行われている。ただし、動的解析の中には静的な解析手法（たとえば、震度法的な考え方）が含まれていることも考えられる。このほか、海洋構造物では流れ解析が3割程度行われていること、ダムでは浸透問題とみられる過渡応答解析が多く実施されていることが特徴的である。

図-2は取り扱う解析の次元を示している。どの構造物でも二次元解析が主流である。三次元解析が最も少な

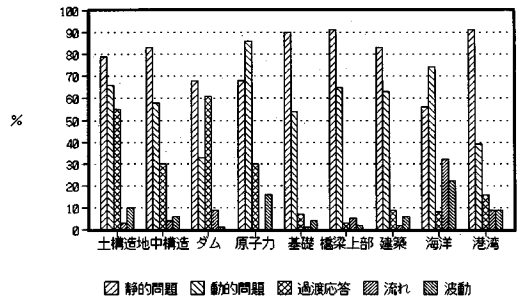


図-1 解析対象構造物と問題の種類

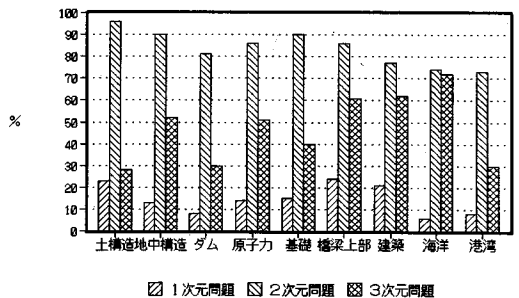


図-2 解析対象構造物と次元

いのは土構造であるが、これは構造体自体、盛土に代表されるように二次元平面ひずみ問題としてのモデル化が容易なためと理解できる。これとは逆に、はり部材で構成されている構造物が多い橋梁上部・建築・海洋構造物では三次元での解析も多く行われており、地中構造物・原子力建築物においても半数近く三次元解析が実施されている。ただし、この中には純粋な三次元解析のほか、軸対称や特殊境界要素などを設置した擬似三次元解析も含まれているとみることが出来る。

3. 汎用コードと自主開発コードの現状と問題点

(1) 汎用コードと自主開発コードの利用状況

研究・教育色の強い大学関係と、より実務色の強い官公庁・公団・企業に分けて、汎用コードと自主開発コードの利用状況を示したものが図-3、図-4である。

大学では汎用コードを利用しているのはわずかに20%弱であり、しかもその大半は1種類の汎用コードを利用しているにすぎない。大学関係では研究・開発がその主な業務であるために自主開発コードとのかかわりが強くなる。

これに対して、官公庁および企業のほぼ70%は何らかの形で汎用コードを利用しており、汎用コードの種類も複数と答えている機関が50%にもものぼっている。複数の汎用コードを利用する理由は、解析対象によって使

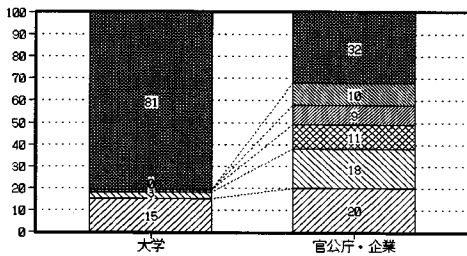


図-3 汎用コードを利用している数

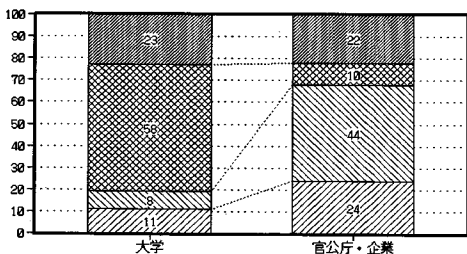


図-4 汎用コードと自主開発コードの利用

使い勝手からその対象とした問題に最も適した汎用コードを選んで利用しているようである。また、40%強の官公庁・企業では汎用コードと自主開発コードを併用している。このように自主開発を行っている理由として、汎用コードでは機能が不十分であることのほか、自社機関の技術力の向上、他部門からの要請に対応できる体制を整えるためであることが考えられる。しかしながら、自主コード開発にかかわる期間・コスト・人員・能力等に問題が残るため、汎用あるいは既存の自主開発コードの中から最適なコードを選択し、解析業務を行う現状が、将来も続くものと考えられる。

(2) 汎用コードを使用する利点と問題点

図-5に汎用コードの利点を、図-6にその問題点について回答した結果を示す。官公庁および企業のほぼ70%は汎用コードを信頼できると回答している。これを部門別でみると、電算部門に比較して設計、研究部門では汎用コードを信頼できると回答した人は少ない。その理由としては、「汎用コードの利用に慣れていないため、思ったおりの解析結果が得られなかったことがある」、「実務上の経験（設計あるいは測定、実験等による経験）より得られた勘と解析結果とが食い違っていると感じたことがある」等が挙げられる。

また、汎用コードの利点として50%近くの回答者が

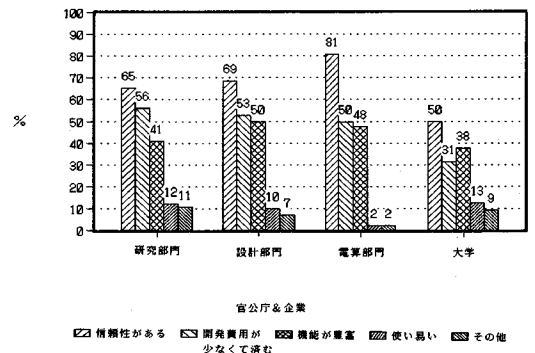


図-5 汎用コードの利点

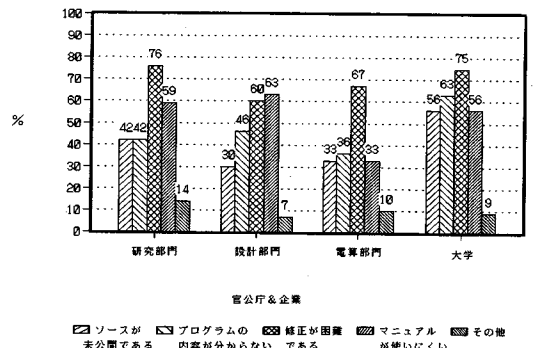


図-6 汎用コードの問題点

「開発費用が安い」・「機能が豊富である」点を挙げている。その他に「発注者を説得しやすいから」、「発注者が指定するから」等の営業的理由が挙げられている点も注目し値する。大学では汎用コードに対する評価はそれほど高くない。おそらく、汎用コードが「研究に対応できるレベルに達していない」・「研究に向いていない」等がその理由であろう。

一方、汎用コードに対する最大の問題点としては、「修正が困難である」が挙げられている。この点については、(3)で詳細な分析を行う。次に、「ソースが未公開」、「プログラムの内容がわからない」については、汎用コードのメーカー側がノウハウの流出あるいは不正利用の防止のためにソース・設計書をほとんど公開していないことがその原因であろう。また、研究・設計部門、大学では「マニュアルが使いにくい」と指摘している。その理由として「マニュアルのページ数が多すぎて使いにくい」、あるいは汎用コードが輸入ソフトである場合には、「マニュアルが英文のまま理解しにくい」等が挙げられる。なお、電算部門の担当者にマニュアルが使いにくいという不満が比較的少なかったのは、汎用コードを常時使用する人あるいは使い慣れている人が多いからであると考えられる。

さらに、図-6で「使いやすい」と回答した人が非常

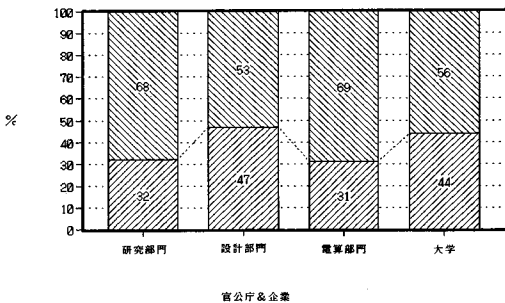


図-7 汎用コードの修正の有無

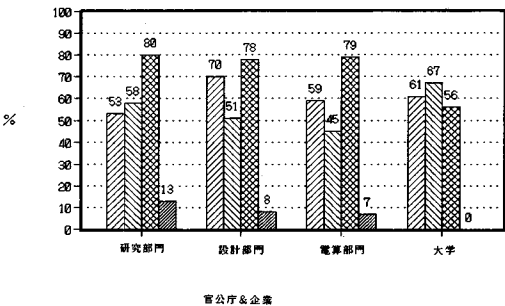


図-8 汎用コードの修正内容

に少ないのは、汎用コードゆえの弱点、すなわち機能が豊富であるために「特定の問題を解析するには不要な機能が多く、データの作成が難しい」、汎用性をもたせているために「実務で通常用いられている単位で入出力できない」等の理由が原因であろう。

(3) 汎用コードの修正作業の現状と問題点

図-7は汎用コードを修正して使用したことがあるかどうかを、図-8は修正すると答えたなかで修正した内容は何かを示した図である。30~50% 近くの部門で汎用コードを修正したことがあると答えており、修正すると答えたなかで「出力方法の修正」が非常に多い。特に、設計部門では、不必要な入力データの削除、設計業務に用いる単位への変更、必要な解析結果の出力の追加、さらに計算書あるいは設計書等の文書としてそのまま使用できるように出力の書式を変更することが多いと考えられる。

これに対して、大学では45% 近くが修正して汎用コードを使用していると答え、しかも修正して使用したことがあると回答した人のなかで、70% 近くの回答者が本体計算を修正している。これは、研究に適用できるように機能修正および追加を行うことが多いからであると考えられる。

(4) 汎用コードの課題

汎用コードは、現在汎用機あるいはミニコンの領域を越えて、パソコンにまで広く利用されつつあり、今後、解析および計算機について高度の知識をもっているユーザーから、解析についても計算機についても全くの初心者であるユーザーまで幅広く利用されるようになると思われる。したがって、より一層ユーザーを意識して、汎用コードの機能およびサポートを充実させなければならぬであろう。今後の課題としては下記の項目が挙げられる。

- ① より一層の機能の充実、信頼性の向上
- ② 特定の分野に絞って、その分野で最も使いやすいコードになるような工夫
- ③ アプリケーションソフトの充実 (AI による解析診断・CAD とのインタフェース・最適化機能・文書作成機能等)
- ④ バグの除去・機能追加および修正などに対するサポート体制の充実・迅速化
- ⑤ マニュアルの平易化・和文化・豊富な例題等の開発・サポート

4. 解析業務の現状と将来の動向

自社内処理と外注の割合を図-9に示す。官公庁および省庁に所属する研究機関、公団では半分以上外注に出している。一般企業のうち鉄道、電力会社は発注者側の

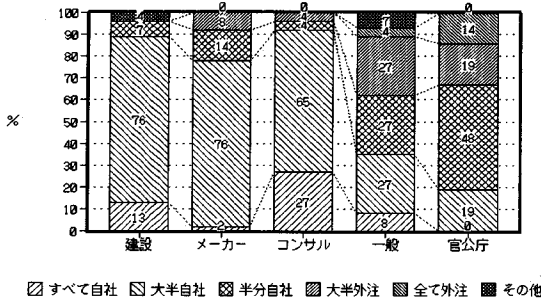


図-9 社内処理と外注の割合

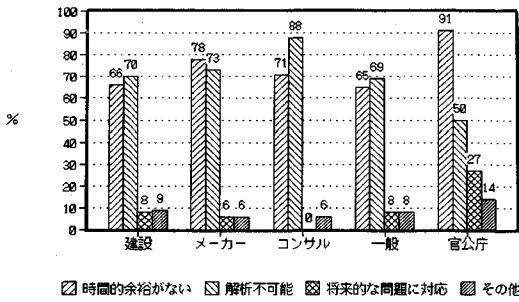


図-10 外注に委託する理由

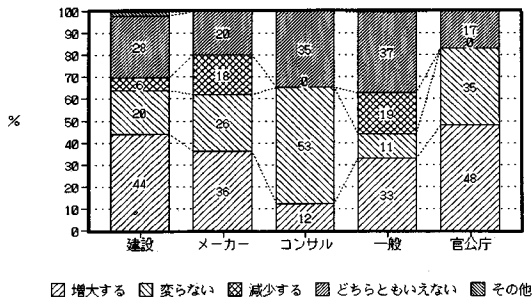


図-11 外注による解析の量的変化の予測

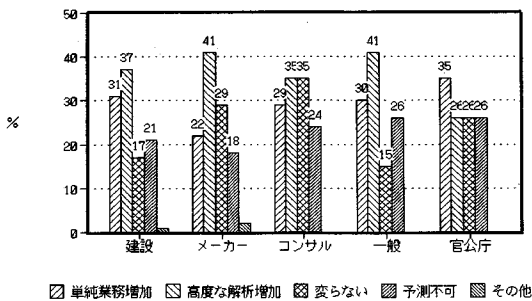


図-12 外注による解析の質的变化の予測

色合いが濃いいためか外注に出す割合がかなり大きい。一方、受注者側の色合いが濃い建設、メーカー、コンサルタントでは、ほとんど自社内で解析業務が行われている。特に、コンサルタントではすべて自社内で業務を

行っている企業が3割近くと多く、できる限り自社内で解析業務を行おうとしている姿勢がみられる。

それでは、外注に出す理由はなにかというアンケートに対し得られた回答を図-10に示す。官公庁等の公的機関では「時間的余裕がない」からであると回答している。事務処理にほとんど時間がとられてしまうために、「解析あるいは計算業務を行うことが難しい」あるいは「解析計算業務を行う体制になっていない」等の理由が考えられる。一方、企業では6割が「時間的余裕がない」、「解析不可能である」と回答している。また、発注者側から指示されたり、外注の方が安い場合に外注にだすこともあるようである。図-11、図-12はそれぞれ外注による解析の量的変化と質的变化の予測に関するアンケート結果を示している。

量的には、一般企業を除いて多くの機関は増大するあるいは変わらないと回答している。これに対し、鉄道や電力会社に代表される一般企業の多くは外注の割合は減少すると回答している。大規模な工事が増大する見込みがないとの判断が一部にみられることがその主な要因のようである。

外注の質的增加の予測に関しては意見が分かれている。単純業務の外注が増えると答えた理由として、「高度な解析業務は社外秘のことが多く外注には出せない」、「少しでも多くの時間を質的価値の高い業務に割り当てる」、「高度な解析業務が外注先で対応できるか不安である」などの要因から高度な解析業務を自社内で処理することが多くなり、それだけ単純な解析業務を外注に出す必要性が増加するからであるとしている。一方、高度な解析業務が増えると答えた理由として、「高度な解析業務の増加に合わせて人材を育成し、確保することは困難である」、「高度な解析業務のためにプログラムを開発することができない」を挙げている。

今後、単純な解析に対する外注が増えるか、あるいは専門的な知識や、技術を要する解析の外注が増えるかどうかは、自社内で専門的な知識をもつスタッフの育成、確保が可能かどうか、あるいは外注に専門的な知識を要する解析業務を任せられるかどうか、そして予算的に外注に出せるかどうかで、意見が分かれているようである。

5. 建設分野における非線形解析の現状と将来への要望

構造物の大型化、複雑化に伴い数値解析の中でも特に非線形解析の使用頻度は今後増える傾向にあり、非線形解析の果たす役割は大きいものと考えられる。しかし、一方において従来の線形解析に比べ非線形解析のもっている複雑さは、実務を行ううえで大きな障害となっており、各方面から現状の非線形解析のいっそうの改善が望

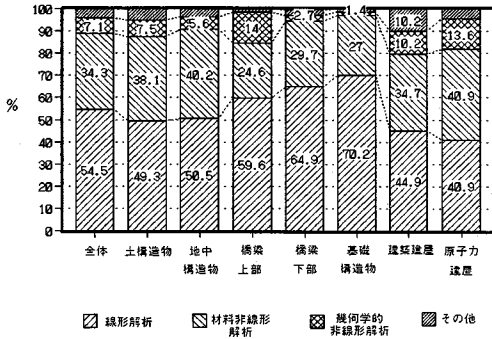


図-13 建設業における非線形解析の適用分野

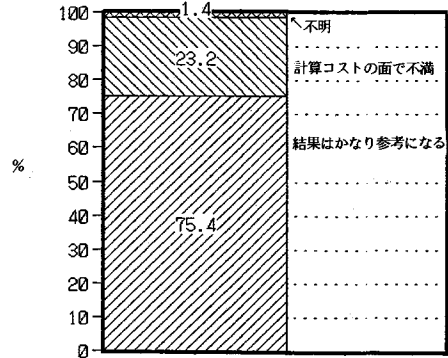


図-14 非線形解析に関する満足度

まれている。以下では企業からのアンケート回答結果をもとに非線形解析の問題点を明らかにし、将来の研究の動向について述べる。

(1) 非線形解析の現状

図-13に構造形式別の線形解析と非線形解析の実施状況を示す。線形解析と非線形解析の割合は、おおむね6対4の割合である。日常業務の中で非線形解析は予想外に多く行われており、その重要性が認められる。非線形解析の内容について調べてみると、非線形解析が線形解析の半分程度行われている分野は、土構造物・地中構造物・原子力構造物である。これらの分野では材料非線形が主流で、土やコンクリートがその主な対象となっている。大空間を支える部材が多い橋梁上部構造物や建築構造物では、幾何学的非線形解析も行われているのがわかる。全体的にみると従来の解析技術に加え、より実際に即しかつ精度の高い解析技術として、三次元解析や非線形解析の必要性が増大してきているものと思われる。

(2) 非線形解析を実施する際の問題点

前節の分析から三次元解析や非線形解析に対する必要性が高まっていることが推測されたが、ここでは非線形解析についてさらに問題を掘り下げてみることにする。非線形解析に対する満足度を調べてみると、図-14, 15, 17に示されているように非線形解析に対して不満を持っている人が多いことが読み取れる。その不満の内容を調べてみると、解析結果はかなり参考になるとしながらもその信頼性に対して不満が多い。次に不満の多いのは計算コストに関するものである。解析結果に関する不満では、解析結果の信頼性を把握することが難しいとの意見が多い。これは図-15に示すように構成式に必要なパラメーターの設定が難しいことや、これらのパラメーターの値が解析結果に大きな影響を与えるためと考えられる。解析結果の信頼性を把握することが難しいことから、実務者は図-16に示すように解析結果の妥当性の検討を、事前の線形解析の結果や工学的経験を踏まえて行っているようである。特に弾性学の知識の延長線

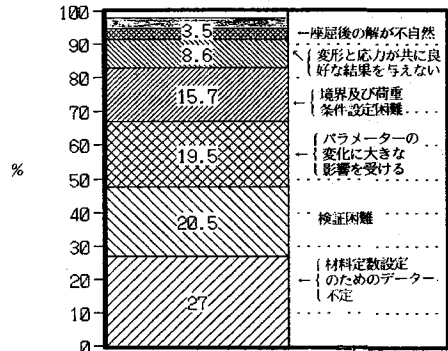


図-15 非線形解析結果の信頼性に関する問題点

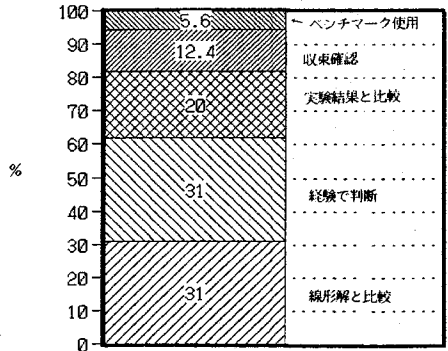


図-16 非線形解析結果の妥当性の検証方法

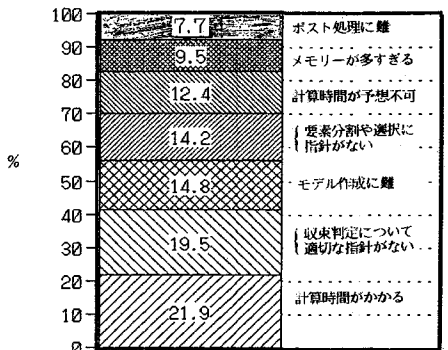
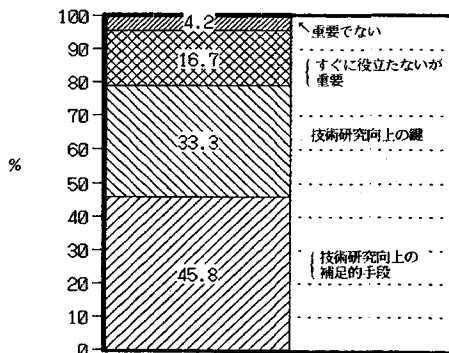


図-17 非線形解析の計算コストや手間の面での問題点

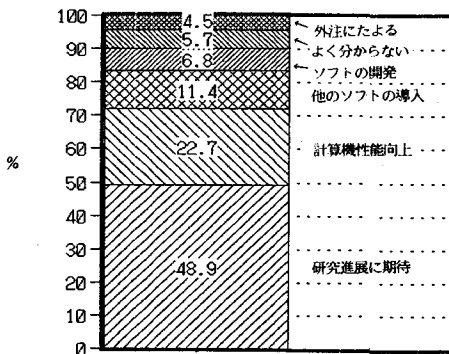
上で結果の妥当性を判断できないことが多いため、実験との比較も行われている。一方、コストに対する不満では、図一17に示すように計算時間や計算容量に関するものが多い。非線形解析は計算機の性能によるところが大きく、より速くより大容量の計算機がいつの時代にも望まれているようである。このほかに、非線形解析では扱うデータ量が膨大となることから、周辺機器たとえばプレ・ポストのプログラムおよびハードウェアの性能の向上も望まれている。

(3) 非線形解析に対する要望

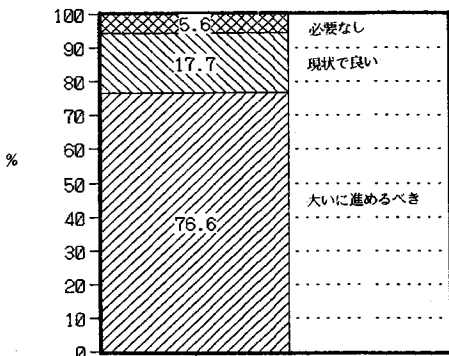
すでにアンケート結果に示されているように、誰にも



図一18 非線形解析の技術開発あるいは研究に対する位置づけ



図一19 非線形解析技術問題の解決法



図一20 産学官共同研究の必要性

使える数値解析手法や構成式が必ずしも十分整備されていないこと、また、現在の設計が線形解析を主体としていることなどの理由により、現状では、非線形解析を補助手段あるいは今後必要となる技術と考えている人が多い。しかし、今回のアンケート結果によれば非線形解析の発展は、図一18に示すように技術や研究の向上にとって重要と考えている人が数多いことも読み取れる。現在の非線形解析の技術課題を解決するためには、図一19に示されているように性能の良い計算機も望まれているが、当面、今後の非線形解析の発展を待つとの意見が多い。また、一方では新たなソフトの開発を積極的に試みようとしている姿も認められる。数値解析特に非線形解析は必要不可欠のものと考えられ、今後の発展に望むところが多いが、実際の業務で用いられる数値解析レベルと研究レベルのそれとのかかなりの隔りがあることも事実である。この意味において学会を中心として、非線形数値解析の適用範囲、解析手法や構成式の統一など実務者が容易に使いこなせるガイドラインの構築を行っていく必要がある。このことはアンケート結果にも示されており、図一20に示すように今後の研究およびその進め方については多くの人が大学・官庁・民間の共同研究を支持している。研究を進めるにあたっては、特殊なノウハウをなくし一般の人にも使える非線形解析の実現が必要であると考えられる。そのためには非線形解析の性能向上のほかに、たとえばエキスパートシステムの支援も必要になる。

6. おわりに

構造解析技術は建設業にとって重要な要素技術である。これなくして物を作ることはできない。昭和40年代後半から建設に関連する各社は、構造解析および設計手法をより大きな容量の電算機にのせるため、各種のプログラムを競って作成した。建設業における構造物は単品生産であり、種々の設計条件下での検討が必要になることから、独自のプログラム開発や汎用プログラムの利用が積極的に行われた。

現在、21世紀に向けて大都市圏の都市機能の強化と快適な生活の実現のためのビッグプロジェクトが考えられている。これらの計画はこれまでの建設計画に比べてその規模および予算ともに大きいばかりでなく、厳しい自然条件を相手にするため、建設にあたっては数多くの解決すべき問題を含んでいる。日進月歩の解析技術や電算能力を駆使して、重要構造物の構造安全性を検討することも必要となろう。そのためには、これまでのアンケート結果を踏まえて、現在の数値解析特に非線形解析に関する研究成果を実務者に幅広く使ってもらうための努力や工夫が、学会を中心として必要になるのではないら

うか。

以上、アンケート結果に対して考察を加えた。今後、異なった面・立場から考察を加え、本報告で触れなかったアンケート項目についてもその結果を報告する予定である²⁾。

また、ご多忙の折にもかかわらず、アンケート調査の趣旨をご理解頂き、ご協力を頂きました方々には、心から厚く御礼申し上げる次第である。

なお、アンケート調査を含む本分科会の研究活動に対して、文部省科学研究費（総合研究（A）-62302039）の交付を受けていることをここに付記する。

最後に、当分科会の構成委員は以下のものであった。

吉田 裕[主査]、阿井正博、阿部和久、井浦雅司、依知川哲治、岩熊哲夫、大槻 明*、尾崎浩明*、川原陸人、

後藤芳顕、坂井藤一、崎山 毅、武田 洋、田村 武、中村秀治、野上邦栄、野村卓史、長谷川彰夫、林 正、桧貝 勇、平嶋健一、前川宏一、前川幸次、増田陳紀[幹事]、松田 隆*、山口宏樹、山崎 淳、吉川弘道、吉田 博、依田照彦[幹事]、黛 巖[事務局]（*は本報告の執筆担当委員）

参 考 文 献

- 1) 土木学会構造工学委員会構造力学小委員会非線形解析分科会：構造工学における計算機利用と数値解析に関するアンケート調査—集計結果報告書，1988年11月。
- 2) 土木学会構造工学委員会構造力学小委員会非線形解析分科会：構造工学における非線形数値解析の現状と将来，土木学会論文集第I部門（投稿中）。

(1989.1.18・受付)