

工学博士山本善之君の「構造物の応力解析に対する有限要素法の基礎的研究」に対する授賞審査要旨

有限要素法は構造物の応力解析、構造設計などに広く利用されている。有限要素法では構造物を三角形などの網目で要素に分割し、要素を形成する節点の変位を仮定し、節点の平衡条件などを満足させるように、コンピュータで計算を行うのである。その計算の過程で、マトリックスの計算を多用するので「マトリックス法」と呼ばれることもある。節点の変位が判れば要素のひずみ、応力が決まり、大規模、複雑な構造でも応力分布などが決定されるのである。有限要素法に対する山本善之君の最初の研究は、当時用いられていた節点の変位に注目して計算する方法では、要素の境界線上での連続性が満たされない場合が生ずることがあり、その様な場合の近似法として境界線上で平均的に連続条件を満たす「ハイブリット変位法」と呼ぶものを提案したことに始まる。

次いで山本君は一九六九年の「マトリックス法に関する日米セミナー」に於て「解析解を用いた有限要素法」なる論文を発表し、大きな注目をひいたのである。

この方法は構造解析で最も重要な課題である応力集中部の応力を精度良く求めようとするものである。応力集中部では応力の変化が急激であるので誤差が生じ易く、また要素も小さく、且つ数多くしないと精度が充分に得られず、計算上も誤差が入りこみやすい。山本君の提案は応力集中部の解析解と有限要素解を組合せて所要の解を求めようと

するものである。即ち応力集中部の境界条件は解析解により、他の境界条件は有限要素解によって満足させ、両者を適当な手順でつき合わせて解を得ようとするもので、前記のセミナーで好評を博した。その後この方法は「重ね合せ法」として広く用いられている。なお山本君は応力集中の極端な例である三次元のクラック周辺の応力分布などこの方法で求めている。

山本君はさらに有限要素法の誤差について研究し、構造物を網目で覆う段階で生ずる誤差（離散化誤差）の性質を、差分法の手法で検討し、応力集中部のように応力条件で与えられた境界で誤差が発生し易いことを明らかにし、それを小さくするための指針を示した。

さらにコンピュータで数値計算をする際、多くの節点での平衡条件式を解くに当って、有効な桁数が有限であることにより生ずる誤差（丸めの誤差）についても検討を加え、大規模構造物に生ずる誤差の拡大を防ぐ方法を研究し、並列消去法の有効性を明らかにした。

これらの誤差については、京都大学教授山田善一博士と共に他に類例をみない著書「マトリックス法の誤差論」を刊行した。そのなかで、山本君は「有限要素法の誤差論の基礎」を担当して誤差の性質を論じ、解の精度向上のための方法を精しく示している。

有限要素法は航空機の構造解析に利用されたことから始まったものであるが、現在ではダム、橋梁、各種建築構造、機械類、自動車、原子炉構造、船体構造など、非常に多くの分野で日常的な構造解析にまで用いられるようになった。さらに構造解析以外にも熱伝達、流体運動などの解析にも利用されている。

山本君の研究は以上に述べたように、工学の非常に幅広い分野で用いられている有限要素法に対し、その誤差の発生と大きさなどに対する基礎的な研究を行い、誤差を少なくするための方法を示したもので応用力学の発展に著しく貢献したものと云えます。

なお山本君はこの有限要素法を用い、船舶異常海難発生の原因を解明するなどの成果をあげて、交通文化賞を運輸大臣から受けていることをお記します。

一、有限要素法に関する主な論文

1. Y. Yamamoto, "A Formulation of Matrix Displacement Method." Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology (1966).
2. Y. Yamamoto, H. Ishiki, K. Hamada, T. Hayashi and H. Ukaji, "Theory of Stress Concentration of Two Normally Intersecting Cylindrical Shells." *Bulletin of JSME*, Vol. 12, Japan Society of Mechanical Engineers (1969) p. 1.
3. Y. Yamamoto and H. Ishiki, "Variational Principles and Dualistic Scheme for Problems in Elasticity". *Journal of Faculty of Engineering*, University of Tokyo, (B) Vol. 30 (1969) p. 17.
4. Y. Yamamoto and N. Tokuda, "A Note on Convergence of Finite Element Solutions." *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 3 (1971) p. 485.
5. Y. Yamamoto, "Finite Element Approaches with the Aid of Analytical Solutions." *Recent Advances on Matrix Methods of Structural Analysis and Design*. University of Alabama Press (1971) p. 85.
6. Y. Yamamoto, "Some Considerations on Round-off Errors of the Finite Element Method." *Advances*

- in the Computational Methods of Structural Mechanics and Design*. University of Alabama in Huntsville Press (1972) p. 69.
7. Y. Yamamoto, N. Tokuda and Y. Sumi, "Finite Element Treatment of Singularities of Boundary Value Problems and Its Application to Analysis of Stress Intensity Factors." *Theory and Practice of Finite Element Methods for Structural Analysis*, University of Tokyo Press (1973) p. 75.
 8. Y. Yamamoto, "Rate of Convergence for the Iterative Approach in Elastic-Plastic Analysis of Continua." *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 7 (1973) p. 497.
 9. Y. Yamamoto and N. Tokuda, "Determination of Stress Intensity Factors in Cracked Plates by the Finite Element Method." *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 6 (1973) p. 427.
 10. Y. Yamamoto, Y. Sumi and K. Ao, "Stress Intensity Factors of Cracks Emanating from Semi-Elliptical Side Notches in Plates." *International Journal of Fracture*, Vol. 10 (1974) p. 593.
 11. H. Seto and Y. Yamamoto, "Finite Element Analysis of Surface Wave Problems by a Method of Superposition." *Proceedings of 1st International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics*, D.W. Taylor Naval Research and Development Center (1975) p. 49.
 12. Y. Yamamoto and H. Kagemoto, "Finite Element Treatments for Free Surface Waves Caused by a Body in Uniform Flow." *Theoretical and Applied Mechanics*, Vol. 26, University of Tokyo Press (1976) p. 549.
 13. Y. Yamamoto and H. Ohtsubo, "Subspace Iteration Accelerated by Using Chebyshev Polynomials for Eigenvalue Problems with Symmetric Matrices." *International Journal for Numerical Methods in*

- Engineering*, Vol. 10 (1976) p. 935.
14. Y. Yamamoto and Y. Sumi, "Stress Intensity Factor for Three-Dimensional Cracks." *International Journal of Fracture*, Vol. 14 (1978) p. 17.
 15. Y. Yamamoto and Y. Sumi, "Finite Element Analysis for Stress Intensity Factors." *Computing Methods in Applied Sciences and Engineering*. 1977, 1, *Lecture Notes in Mathematics*, Vol. 704, Springer (1979) p. 154.
 16. Y. Yamamoto, "The Ritz Procedure and Its Extension in Finite Element Analysis." *Computational Method in Nonlinear Mechanics*, North-Holland (1980) p. 519.
 17. Y. Yamamoto, "Structure-Fluid Interaction Problems for a Ship among Waves." *Theoretical and Applied Mechanics*, North-Holland (1980) p. 209.
 18. Y. Yamamoto, H. Ohtsubo, T. Takeda and T. Fukasawa, "Structural Failure of a Small Cargo Vessel among Rough Seas." *Extreme Response Symposium*. Ship Structure Committee and the Society of Naval Architects and Marine Engineers (1981) p. 11.
 19. Y. Yamamoto and H. Ohtsubo, "A Qualitative Accuracy Consideration on Arch Element." *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 18 (1982) p. 1179.
 20. Y. Yamamoto, N. Pokuda and Y. Sumi, "Accuracy Considerations for Finite Element Calculations of the Stress Intensity Factor by the Method of Superposition." *Hybrid and Mixed Finite Element Method*, John Wiley (1983) p. 361.
 21. Y. Yamamoto and N. Matsubara, "Buckling of a Cylindrical Shell under External Pressure Restrained by an Outer Rigid Wall." *Collapse: The Buckling of Structures*. Cambridge University

Press (1983) p. 493.

22. Y. Yamamoto, M. Fujino, H. Ohtsubo, T. Fukasawa, G. Aoki, H. Ikeda and A. Kumano, "Analysis of Disastrous Structural Damage of a Bulk Carrier." *PRADS 83, Proceedings of 2nd International Symposium on Practical Design in Shipbuilding*, Society of Naval Architects of Japan (1983) p. 11.
 23. Y. Yamamoto and K. Kokubo, "Effects of Geometrical Imperfections and Boundaries on the Buckling Strength of a Spherical Shell." *Computers and Structures*, Vol. 19 (1984) p. 285.
 24. Y. Yamamoto, Y. Sumi, T. Shimoyama and T. Funada, "On Thumb-Nail Pattern of Fatigue Crack Front Observed in Standard Compact Tension Specimen." *International Journal of Fracture*, Vol. 34 (1987) p. 149.
- 11' 州州船船 船船の船船
1. 山本善之. 「有限変位の弾性論」, 岩波講座現代応用数学 B7b-1, 岩波書店 (1957).
 2. 吉藏雅夫, 山本善之. 「弾性安定論」, 応用力学講座 10-B, 共立出版株式会社 (1958).
 3. 山本善之. 「弾性・塑性」, 応用数学力学講座 第11巻, 朝倉書店 (1961).
 4. M. Yoshiki, Y. Yamamoto, N. Ando and T. Kawai, *Studies on the Buckling Strength of Ship Structures, 60th Anniversary Series*, Vol. 12, Society of Naval Architects of Japan (1966).
 5. 山本善之, 山田善一. 「マトリックス法の誤差論」, コンピュータによる構造工学講座 II-5-B, 培風館 (1972).
 6. J.T. Oden, R.W. Clough and Y. Yamamoto (Editors), *Advances in Computational Methods of Structural Mechanics and Design*, University of Alabama in Huntsville Press (1972).
 7. 山本善之, 堀 幸夫, 「固体力学」, 岩波書店 (1976).

8. 鷺津久一郎, 宮本 博, 山田嘉昭, 山本善之, 川井忠彦編著. 「有限要素法ハンドブック」 I, II, 培風館 (1981, 1983).
9. 山本善之, 大坪英臣, 角 洋一, 藤野正隆. 「船体構造力学」, 成山堂書店 (1986).
10. Y. Yamamoto and K. Miya (Editors), *Electromagneto-mechanical Interactions in Deformable Solids and Structures*, North-Holland (1987).