

12. Y. Okada, S. Watanabe and M. Toda: Nonlinear Dual Lattice, J. Phys. Soc. Japan 59 (1990) 4279-4285.
 13. M. Toda: Partition Function of Nonlinear Lattice, "Nonlinear Dispersive Wave Systems" (ed. L. Debnath, World Scientific Publ. 1992) 435-442.
 14. 戸田盛和：格子ソリトンの発見（五十年をかえりみる）、日本物理学会誌 51 (1996) 185-188.
- (B) 著書
1. Theory of Nonlinear Lattices 20, Springer Series in Solid State Sciences (Springer Verlag 1981, 2nd enlarged ed. 1988, Russian ed. 1984).
 2. Nonlinear Waves and Solitons (Kluwer Academic Publ. 1989).

工学博士石原研而氏の「地震時における 地盤の液状化に関する研究」に対する授 賞審査要旨

石原研而氏の研究は、地盤災害の調査による実際現象の把握と問題提起から始まっている。一九六四年新潟地震、一九七七年ルーマニア、ブランシア地震、一九七八年宮城県沖地震、一九七八年伊豆大島近海地震、一九八四年長野県西部地震、一九八七年エクワドル地震、一九八九年アルメニア地震、一九九〇年イラン、マンジール地震、一九九〇年ソヴェエト、タジク地震、一九九〇年フィリピン、ルソン島地震、一九九五年兵庫県南部地震の地盤被害の調査を詳細に行い、実際の地盤液状化に伴う地盤変動に関する法則性を見出すとともに、室内試験により検討すべき点を明らかにした。

石原研而氏は、室内での材料試験である三軸及びねじりせん断試験により、土の液状化現象に関係する諸因子の精密な研究を行い、そのメカニズムと影響度の定量化と体系化を行った。特に、地震動の最大値が同一でも、地震動波形が衝撃的であるほど土は液状化しにくくなること、地震動が水平面内で多方向に作用すると地震動が水平一方向に作用する場合よりも土は液状化しやすくなること、土

に含まれる細粒分が増加して土の粘着性が増すほど、土は液状化しにくくなること、堆積してから時間が経過するほど粒子構造が安定化して年代効果が現われ、土は液状化しにくくなること、現在の荷重よりも大きな荷重を過去に受けていると、土は液状化しにくくなること、堆積時における地盤内の水平方向の応力が大きくなるほど、土は液状化しにくくなること、地盤内に作用するせん断応力の最大値が同一でも、応力の主軸が連続的に回転する場合に土は液状化しやすくなること等、土の液状化特性に影響を与える要因のメカニズムと定量的相関を、世界に先駆けて明らかにした。

次に砂の材料試験により、砂の非常に複雑でしかも非定常である変形特性を規定する三つの法則、つまり Plastic flow rule (塑性流れ則)、Strain hardening rule (ひずみ硬化則)、Yield function (降伏関数) に関する砂独特の新しい法則性を見出し、定式化に成功している。つまり、

(一)「塑性流れ則」は、多次元の塑性ひずみ増分と応力状態との関係を規定する法則であるが、これに関して、砂の場合、作用する主応力方向が連続的に回転すると、応力成分の作るテンソルと塑性ひずみ増分成分の作るテンソルの方向が一致しない、と言いういわゆる「主軸の不一致性」が顕在化することを指摘した。これは、従来の塑性力学の基本仮定とは異なるものであり、

実験結果に基づいた理論的考察により、それに代わる法則性を提案し定式化した。また、砂の変形特性の著しい特徴の一つは「塑性せん断変形により塑性体積ひずみが生じる」と言いういわゆる dilatancy 現象である。このために繰返し載荷により砂は体積を減少しようとするが、地震時のように非排水で体積が一定の条件では、ゆる詰めの飽和した砂では有効拘束圧つまり粒子間応力が減少してゼロになり液状化する。これらのメカニズムを明らかにすることにより、定量的に地盤の液状化を予測する方法の道を開いた。

(二)「ひずみ硬化則」は、塑性ひずみの進展に伴う応力の増加の法則を規定する。「降伏関数」は、塑性ひずみが生じる時の応力条件を規定する。これらに関して、砂のひずみ硬化と降伏は、軟弱粘性土の場合に対して提案されていたモデルとは異なり、基本的にはせん断応力と有効拘束圧の比に支配されることを明らかにした。このメカニズムのため、非排水条件において一定のせん断応力振幅で繰返し載荷を受けたとき、有効拘束圧の減少に伴いこの応力比が増加し降伏が進展し更にこのため有効拘束圧が減少する、と言いう chain reaction が生じ、このために液状化に至ることが明らかになった。この成果は、その後世界的に広く行われるようになった砂の液状化の理論的研究の端緒となった。

これらの基礎理論をもとに、変形の異方性を考慮した土の応力・ひずみに関する力学モデルを構築した。更に、上記の力学モデルを、有限要素法に基づく一次元及び二次元の地震応答解析プログラムに組み込んで、有効応力に基づく地盤の地震応答解析を行うことを可能にした。その結果、地震動の経過時間とともに間隙水圧が上昇して砂地盤が軟化し、応答が抑止されたり地盤の振動周期が増大する現象や液状化発生のメカニズムを解析的に追跡することが可能になった。

更に、以上の基礎研究に基づく応用研究として、原位置地盤の液化の判定法を確立した。また原位置における振動杭貫入試験や発破を利用した試験を実施し、その実施方法と結果の解釈、利用法について有益な提案を行った。更に一九七六年頃から、原位置の砂地盤中に間隙水圧計を埋設しておき、地震による水圧上昇の経時変化の記録を得ることを先駆的に試み、成功しているが、この記録は原位置の砂地盤における液状化発生のメカニズム解明の鍵となる情報であり、これを用いて上記の有効応力に基づく地盤の地震応答解析法の妥当性が実証された。

石原氏の以上のような研究業績は、国内外で高い評価を得、一九七二年には土木学会論文賞、一九七八年には土質工学会論文賞を受賞、更に一九九八年には米国土木学会 H. B. Seed 賞を受賞した。ま

た一九九三年には英国土木学会と地盤工学会主催の第三三回 Rankine 記念講演者に選出され、一九九七年には国際地盤工学会会長(任期四年)に選出され、現在活躍中である。

主要な著書及び論文目録

〔著書〕

土質力学、一九八八年、丸善株式会社
土質力学の基礎、一九七六年、鹿島出版
土質力学、土木工学大系八(木村孟氏と共著)、一九七七年、彰国社
Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics, 1996, Oxford University Press.

〔学術論文〕

Ishihara, K. and Li, S. (1972), "Liquefaction of Saturated Sand in Triaxial Torsion Shear Test", Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 12, No. 2, pp. 19-39.
Ishihara, K. and Yasuda, S. (1972), "Sand Liquefaction due to Irregular Excitation", Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 12, No. 4, pp. 65-77.
Ishihara, K. and Mitsu, S. (1972), "Field Measurements of Dynamic Pore Pressure during Pile Driving", Proc. International Conference on Microzonation for Safer Construction, Research and Application, Vol. 2, Seattle, pp. 529-544.
Ishihara, K. and Tatsuoka, F. (1973), "Stress Path and Dilatancy Performance of a Sand", Proc. 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, Vol. 1, pp. 419-424.
Ishihara, K. (1973), "Measurements of Dynamic Pore Pressure by Pile Driving", Proc. 8th International Conference on Soil Mechanics and

- Foundation Engineering, Moscow, Vol. 3, pp. 440-442.
- Ishihara, K. and Yasuda, S. (1973), "Sand Liquefaction under Random Earthquake Loading Condition", Proc. 5th World Conference on Earthquake Engineering, Rome, pp. 38-47.
- Tatsuoka, F. and Ishihara, K. (1974), "Yielding of Sand in Triaxial Compression", Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 14, No. 2, pp. 63-76.
- Ishihara, K., Tatsuoka, F. and Yasuda, S. (1975), "Undrained Deformation and Liquefaction of Sand under Cyclic Stresses", Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 15, No. 1, pp. 29-44.
- Ishihara, K. and Yasuda, S. (1975), "Sand Liquefaction in Hollow Cylinder Torsion under Irregular Excitation", Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 15, No. 1, pp. 45-59.
- Ishihara, K., Lysmer, J. S., Yasuda, S. and Hirao, H. (1976), "Prediction of Liquefaction in Sand Deposits during Earthquakes", Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 16, No. 1, pp. 1-16.
- Ishihara, K., Iwanoto, S., Yasuda, S. and Takatsu, H. (1977), "Liquefaction of Anisotropically Consolidated Sands", Proc. 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, Vol. 1, pp. 261-264.
- Ishihara, K. (1977), "Simple Method of Analysis of Liquefaction of Sand Deposits during Earthquakes", Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 17, No. 3, pp. 1-17.
- Ishihara, K., Silver, M. and Kitagawa, H. (1978), "Cyclic Strengths of Undisturbed Sand Obtained by Large Diameter Sampling," Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 18, No. 4, pp. 61-76.
- Ishihara, K. and Okada, S. (1978), "Effects of Stress History on Cyclic Behavior of Sand", Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 18, No. 4, pp. 31-45.
- Ishihara, K. and Takatsu, H. (1979), "Effects of Overconsolidation and K_0 Conditions on the Liquefaction Characteristics of Sands", Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 19, No. 4, pp. 59-68.
- Ishihara, K. and Towhata, I. (1980), "One-dimensional Soil Response Analysis during Earthquakes Based on Effective Stress Method", Journal of the Faculty of Engineering, University of Tokyo (B), Vol. 35, No. 4, pp. 655-700.
- Ishihara, K. and Yamazaki, F. (1980), "Cyclic Simple Shear Tests on Saturated Sand in Multi-Directional Loading", Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 20, No. 1, pp. 45-59.
- Ishihara, K., Troncoso, J., Kawase, Y. and Takahashi, Y. (1980), "Cyclic Strength Characteristics of Tailings Materials", Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 20, No. 4, pp. 433-449.
- Ishihara, K. and Okada, S. (1982), "Effects of Large Preshearing on Cyclic Behavior of Sand", Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 23, No. 3, pp. 109-125.
- Ishihara, K. and Perle, V. (1982), "Liquefaction-Associated Ground Damage during the Vrancea Earthquake of March 4, 1977", Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 24, No. 1, pp. 90-112.
- Ishihara, K. (1983), "Soil Response in Cyclic Loading, Induced by Earthquakes, Traffic and Waves", Proc. 7th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Haifa, Israel, Vol. 2, pp. 42-66.
- Ishihara, K. (1983), "Post-Earthquake Failure of a Tailings Dam due to Liquefaction of the Pond Deposit", Proc. International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, St. Louis, Vol. 1, pp. 511-521.
- Ishihara, K. and Yamazaki, A. (1984), "Analysis of Wave-induced Liquefaction in Seabed Deposits of Sand", Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 24, No. 3, pp. 85-100.
- Ishihara, K. (1985), "Stability of Natural Deposits during Earthquakes", Proc.

- 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, Vol. 2, pp. 321-376.
- Ishihara, K. and Towhata, I. (1985), "Undrained Strength of Sand Undergoing Cyclic Rotation of Principal Stress Axes", Soils and Foundations, Vol. 25, No. 2, pp. 135-147.
- Ishihara, K., Yamazaki, A. and Hara, K. (1985), "Liquefaction of K_0 -Consolidated Sand Under Cyclic Rotation of Principal Stress Direction with Lateral Constraint", Soils and Foundations, Vol. 25, No. 4, pp. 63-74.
- Ishihara, K. and Kabllanmy, K. (1988), "Two-Dimensional Seismic Response Analysis based on Multiple Yield Surface Model", Proc. Sixth International Conference on Numerical Methods in Geomechanics, Innsbruck, pp. 1811-1815.
- Ishihara, K. and Nagase, H. (1988), "Multi-Directional Irregular Loading Tests on Sand", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 7, No. 4, pp. 201-212.
- Ishihara, K., Troncoso, J. and Verdugo, R. (1988), "Aging Effects on Cyclic Shear Strength of Tailings Materials", Proc. 9th World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo-Kyoto, Japan, Vol. 3, pp. III-121-III-126.
- Ishihara, K. and Koseki, J. (1989), "Cyclic Shear Strength of Fines-Containing Sands", Special Volume, Earthquake Geotechnical Engineering, Proc. of Discussion Session on Influence of Local Conditions on Seismic Response, 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rio de Janeiro, pp. 101-106.
- Ishihara, K., Murai, T. and Towhata, I. (1989), "In-Site Pore Water Pressures and Ground Motions during the 1987 Chiba-Toho-Oki Earthquake", Soils and Foundations, Vol. 29, No. 4, pp. 75-90.
- Ishihara, K., Okusa, S., Oyagi, N. and Ischuk, A. (1990), "Liquefaction-Induced Flow Slide in the Collapsible Loess Deposit in Soviet Tajik", Soils and Foundations, Vol. 30, No. 4, pp. 73-89.
- Ishihara, K. and Kabllanmy, K. (1990), "Stress Dilatancy and Hardening Laws for Rigid Granular Model of Sand", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 9, No. 2, pp. 66-77.
- Ishihara, K. and Kabllanmy, K. (1991), "Cyclic Behavior of Sand by the Multiple Shear Mechanism Model", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 74-83.
- Ishihara, K. and Yoshimine, M. (1991), "Evaluation of Settlements in Sand Deposits Following Liquefaction during Earthquakes", Soils and Foundations, Vol. 32, No. 1, pp. 173-188.
- Ishihara, K., Haeri, S. M., Moimfar, A. A., Towhata, I. and Tsujino, S. (1992), "Geotechnical Aspects of the June 20, 1990 Manjil Earthquake in Iran", Soils and Foundations, Vol. 32, No. 3, pp. 61-78.
- Ishihara, K. (1993), "Liquefaction and Flow Failure during Earthquakes", The 33rd Rankine Lecture, Geotechnique, Vol. 43, No. 3, pp. 351-415.
- Ishihara, K. (1993), "Liquefaction-Induced Ground Damage in Dagupan in the July 16, 1990 Luzon Earthquake", Soils and Foundations, Vol. 33, No. 1, pp. 133-154.
- Cubrinovski, M., Ishihara, K. and Tanizawa, F. (1996), "Numerical simulation of the Kobe Port Island liquefaction", Proc. 11th World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, CD-ROM, Disk No. 1, Paper No. 330.
- Ishihara, K., Yoshida, K., and Kato, M. (1997), "Characteristics of Lateral Spreading in Liquefield Deposits during the 1995 Hanshin-Awaji Earthquake", Journal of Earthquake Engineering, Imperial College Press, Vol. 1, No. 1, pp. 23-55.
- Ishihara, K. and Cubrinovski, M. (1998), "Soil-Pile Interaction in Liquefield Deposits undergoing Lateral Spreading", Proc. 11th Danube-European

Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Croatia, pp. 51-64.

Cubrinovski, M., Ishihara, K. and Hatano, M. (1998), "Effective stress analysis of seismic vertical array sites at Kobe", Proc. 11th Danube-European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Croatia, pp. 325-332.

Ishihara, K., Cubrinovski, M., and Nonaka, T. (1998), "Characterization of Undrained Behaviour of Soil in the Reclaimed Area of Kobe", Special Issue of Soils and Foundations, No. 2, Japanese Geotechnical Society, pp. 33-46.

Cubrinovski, M., Ishihara, K. and Furukawazono, K. (1999), "Analysis of full-scale tests on piles in depositions subjected to liquefaction", 2nd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Lisbon, Vol. 2, pp. 567-572.

理学博士千川純一氏の「シリコン結晶の成長と完全性」に対する授賞審査要旨

X線の発見 (W. C. Röntgen, 1895) 後、C. G. Barkla (1905) がX線は電磁波であることを示してから、その波長が問われていた。それには極細の回折格子が必要で、原子が整列した結晶を用いて、X線回折実験 (Laue-Friedrich-Knipping の実験、1912) が行われた。

まもなく、結晶からのX線回折強度が計算された (C. G. Darwin, 1914; P. P. Ewald, 1917)。多重散乱を考慮した動力学的回折理論による「理想的に完全な結晶」に対する回折強度は下限値を、一回散乱を仮定した運動学的理論による「理想的なモザイク構造」または「理想的に不完全な結晶」に対する回折強度は上限値を与える。現実の結晶はその中間の回折強度を示し、長い間、「理想的に完全な結晶」は実在しないと信じられてきた。

この通念を打ち破ったのはC. W. Dashが、一九五八年に転位(原子配列の線状の乱れ、線欠陥)を含まないシリコン結晶の製作に成功した。この無転位結晶によって、「理想的に完全な結晶」の回折強度が実証され、さらに、原子配列の乱れた結晶の回折理論と実験に進展した。転位近くの格子が歪んで回折角度が変り、回折し