

5章 結論

本研究の目的は、高温時における鋼梁の挙動を数値解析により精算し、また数値解析では困難な部分を実験により補い、鋼梁の高温時挙動や鋼梁が崩壊する温度を明らかにすることである。本論文で示した研究結果をまとめると、以下の結論が導ける。

- Bathe の 4-node shell 要素の各節点に 2 つの独立した面内回転自由度を付加し、H 型鋼梁のウェブ・フランジ接合部において、本来発生するであろう変形を拘束しない 8-node 長方形要素を提案した。
- 8-node 長方形要素から成る、H 型鋼梁数値解析モデルの解析結果と理論値を比較した結果、常温・高温時、弾性・塑性領域に関して数値解析モデルの妥当性を検証できた。
- 鋼梁の部材軸方向線膨張が周辺架構に拘束される場合に関して、鋼梁内の温度分布を一定と仮定して解析を行ない、熱応力の発生する場合の鋼梁の高温時挙動、崩壊温度を明らかにした。鋼梁の崩壊温度に関しては、崩壊モードと単純塑性理論より、純鉄骨梁の場合には基本横座屈崩壊温度で、合成梁の場合には基本合成梁崩壊温度で安全に評価できることがわかった。
- 鋼梁内の軸方向、丈方向に温度勾配が存在する場合に関しては実験を行なった。鋼梁内に温度勾配が存在する場合、上フランジ温度が下フランジ・ウェブ温度より低く、従って強度が高いため、横座屈などの不安定現象が抑制される。さらに中立軸が上フランジに近接するので、鋼梁内の温度が均一である場合より全塑性モーメントが上昇する。
- 温度勾配が存在する場合に関して、純鉄骨梁の場合は上フランジとウェブの間に中立軸があるとし、また合成梁の場合は上フランジとスラブの間に中立軸があると仮定すると全塑性モーメントを的確に評価できる。
- 火災時、鋼梁の温度分布が一様であるという仮定のもと、基本横座屈崩壊温度、基本合成梁崩壊温度の崩壊温度略算式の妥当性を検証したが、温度勾配が鋼梁内に存在する場合、温度勾配が存在しない均一温度の場合に比べて断面性能が上昇するので、鋼梁内の温度分布が一様であるということは、最も崩壊温度を低下させる要因である。即ち温度分布によらず、崩壊時の温度として下フランジの温度を採用すると、基本横座屈崩壊温度、基本合成梁崩壊温度は常に安全に鋼梁の崩壊温度を評価する。

参考文献

- [1] Investigation of Broad gate phase 8 Fire; Structural Fire Engineering 1991, June
- [2] 鋼構造耐火設計指針、建築学会、1998年
- [3] Gatewood, B. E., "Thermal Stresses in Long Cylindrical Bodies," thesis presented to University of Wisconsin, at Madison, Wisc., in 1939, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy
- [4] Melan, E., and Parvins, H., "Warmespannung," Springer-Verlag, Vienna, Austria, 1953
- [5] Brahtz, J. F., and Dean A., "An Account of Research Information Pertaining to Aerodynamic Heating and Airframe," WADC TR55-59, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1955.
- [6] Gatewood, B. E., Thermal Stresses-with Applications to Airplanes, Missiles, Turbines, and Nuclear Reactors, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N. Y., 1957.
- [7] Hopkinson, B., and Rogers, F., "The Elastic Properties of Steel at High Temperatures," Proceedings of Royal Society, London, England, Vol. 76, 1905, pp. 419.
- [8] Malcolm, V. T., "Steels at Elevated Temperatures," Bulletin, The Chapman Valve Manufacturing Co., 1922.
- [9] French, H. J., and Tucker, W. A., "Strength of Steels at High Temperatures," Iron Age, Vol. 112, 1923, pp. 193.
- [10] French, H. J., and Tucker, W. A., "Available Data on the Properties of Irons and Steels at Various Temperatures," Proceedings, American Society for Testing and Materials, Vol. 24, Part II, 1924, pp. 56-58.
- [11] Verse, G., "The Elastic Properties of Steel at High Temperatures," Transactions, American Society of Mechanical Engineers, Vol. 57, 1935.
- [12] Foster, H. D., Pinkston, E. R., and Ingberg, S. H., "Fire Resistance of Walls of Lightweight-Aggregate Concrete Masonry Units," Building Materials and Structures Report, U. S. National Bureau of Standards, No. 117, 1950.
- [13] Garofalo, E., Malenock, P. R., and Smith, G. V., "The Influence of Temperature on the Elastic Constants of some Commercial Steels," Determination of Elastic Constants, Special Technical Publication, American Society for Testing and Materials, 1952, pp. 10.
- [14] Bergman, D. J., "Some Cases of Stresses due to Temperature Gradients," Transactions, American Society of Mechanical Engineers, Vol. 78, July, 1956, pp. 1011-1017.

- [15] Clauss, F. J., "An Examination of High-Temperatures Stress-Rupture Correlating Parameters," Proceedings, American Society for Testing and Materials, Vol. 60, 1960, pp. 905-927.
- [16] Brockenbrough, R. L., "Investigation of Heat Curved Girders," presented at the December 5, 1968, American Association of State Highway Officials Annual Meeting held at Minneapolis, Minn.
- [17] Tall, L., "The Strength of Welded Built-up Columns," Fritz Laboratory Report No. 249. 10, Lehigh University, Bethlehem, Pa., May, 1961.
- [18] 斎藤 光、清水洋平：高温時鉄骨構造梁の曲げ実験、日本建築学会論文報告集、第 89 号、昭和 38 年 9 月。
- [19] 高野孝次：鉄骨構造部材の耐火性に関する研究、pp. 84-109、学位論文、昭和 58 年
- [20] Culver, C., Aggarwal, V., and Ossenbruggen, P., "Buckling of Steel Columns at Elevated Temperatures", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 99, No. St4, April, 1973.
- [21] Culver, C., Aggarwal, V., and Ossenbruggen, P., "Steel Column Failure under Thermal Gradients", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 99, No. St4, April, 1973.
- [22] Galambos, T. V., Structural Members and Frames, Prentice-Hall Book Co., Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1968.
- [23] Newmark, N. M., "Numerical Procedure for Computing Deflections, Moments, and Buckling Loads, Transactions, ASCE, Vol. 180, 1943, pp. 1161.
- [24] 斎藤 光：鋼構造架構の熱応力、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和 44 年
- [25] 斎藤 光、上杉英樹、古平章夫、今野 修：既存超高層建築の熱応力性状、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和 58 年
- [26] 原田 有、右田健児、牧野雄二：火災時における鉄骨高層剛節骨組の応力ならびに変形量の算定について、日本建築学会論文報告集号外、昭和 41 年 10 月
- [27] Zienkiewics, O. C., "The Finite Element Method," McGraw-Hill, New York (1977).
- [28] Washizu, Q., "Variational Methods in Elasticity and Plasticity Second Edition" Pergamon Press.
- [29] Cheng, W. C., and Mark, C. K., "Computer Analysis of Steel Frame in Fire.," Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 101, No. ST4, April, 1975.
- [30] Sanders, J. L., McComb, H. G., and Schlechte, F. R., "A Variational Theorem for Creep with Applications to Plates and Shells," NACA Tech Note 4003, National Advisory Committee for Aeronautics, 1957.
- [31] Pian, T. H. H., "On the Variational Theorem for Creep," Journal of the Aerosol Science, Nov., 1957, pp. 846-847.
- [32] Harmathy, T. Z., (1976). "Creep deflection of metal beams in transient heating processes, with particular reference to fire," Canadian J. Civ. Engrg., 3(2), 219-228.
- [33] Thor, J., Pettersson, O., and Magnusson, S. E. (1977). "A rational approach to fire engineering design of steel buildings." Engrg. J., 14(3).

- [34] H. Furumura, Y. Shinohara, "Inelastic Behavior of protected Beams and Frames in Fire", Trans. A. I. J., No.300, Feb., 1981.
- [35] Fujimoto, M., Furumura, F., Ave, T., and Shinohara, Y., : Primary Creep of Structural Steel (SS41) at High Temperatures, Trans of A. I. J., No.296 October 1980, pp. 145-157.
- [36] Fujimoto, M., Furumura, F., Ave, T., : Effect of Step-wise Change of Stress on Primary Creep of Structural Steel, Trans of A. I. J., No. 308. October 1981, pp. 165-173.
- [37] Furumura, F., Ave, T., : Effect of Step-wise Change of Temperature on Primary Creep of Structural Steel, Trans of A. I. J., No. 339, May, 1984, pp. 165-173.
- [38] Furumura, F., Ave, T., Kim, W. J., and Okabe, T., : Nonlinear Elasto-Plastic Creep Behavior of Structural Steel under Continuously Varying Stress and Temperature, J. of Structural and Construction Engineering, Trans. of A. I. J., No. 353, July, 1985, pp. 92-102.
- [39] 古村福次郎、安部武雄、岡部 猛、金 和中、 : 火災による加熱温度域を考慮した建築用鋼材の応力-歪関係実験式 : 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海) 昭和 60 年 10 月、pp. 621-622.
- [40] H. Furumura, T. Abe, "Creep Buckling of Steel Columns at High Temperatures-Part I. Development of Creep Buckling Test apparatus", Trans. A. I. J., No. 344, Oct., 1984.
- [41] 古村福次郎、右田健児、安部武雄、岡部猛、金和中、「鋼梁-柱部材の加熱時構面内弾塑性クリープ変形挙動に関する研究」、日本建築学会構造系論文報告集、第 395 号、1989 年 1 月。
- [42] 古村福次郎、右田健児、安部武雄、岡部猛、篠原保二、「高温度における T 形断面鋼柱のクリープ座屈」、日本建築学会構造系論文報告集、第 420 号、1991 年 2 月。
- [43] Cheat, E. K., "Stress Analysis of Steel Frame Structures with Nonrigid Connections subjected to Thermal Gradient.", Trans of A. I. J., No. 346, December, 1984.
- [44] Becker, J., Bresler, B., "FIRES-RC A Computer Program for the Fire Response of Structure ---Reinforced Concrete Frames", Report No. UCB FRG74-3, University of California Berkley, July, 1974.
- [45] 古村福次郎、右田健児、安部武雄、岡部猛、金和中、「塑性設計された鋼構造骨組の弾塑性クリープ熱変形挙動」、日本建築学会構造系論文報告集、第 368 号、昭和 61 年 10 月。
- [46] 右田健児、岡部 猛 : 火災を受ける鋼構造骨組の熱応力解析に関する研究 : 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北) 昭和 57 年 10 月、pp. 2321-2322.
- 、計算時間の短縮を工夫した解析モデルを示し、さらに解析例を示した [47] ()
- [47] 上杉英樹、小池 浩 : 高層鉄骨架構の熱応力解析 (その 1) 区画火災を受ける超高層鉄骨架構の熱応力解析手法、日本建築学会構造系論文報告集、第 361 号、昭和 62 年、11 月。
- [48] 鈴木弘之 : 火災時における鋼骨組の崩壊温度、日本建築学会構造系論文報告集、第 477 号、1995 年、11 月。
- [49] 鈴木弘之、石田雄一、近藤明洋 : 火災加熱を受ける鋼構造骨組の崩壊温度 (その 2) クリープの影響、日本建築学会大会学術講演梗概集 (防火)、1992 年 8 月。

- [50] 鈴木弘之・片山晃一・三木久永：火災加熱を受ける鋼構造骨組の崩壊温度その 19) ブレースを含む架構の崩壊温度、日本建築学会大会学術講演梗概集（防火）、1997 年 9 月。
- [51] 鈴木弘之・松村奈津子・三木久永・尾崎文宣：火災加熱を受ける鋼構造骨組の崩壊温度その 24) 鋼ブレース骨組の崩壊温度、日本建築学会大会学術講演梗概集（防火）、1998 年 9 月。
- [52] 鈴木弘之・岩井昭夫・種植淳二・執行重人：火災加熱を受ける鋼構造骨組の崩壊温度その 7) 構造物の横移動による崩壊温度の低下、日本建築学会大会学術講演梗概集（防火）、1994 年 9 月。
- [53] 鈴木弘之・賀集弘貴・中川弘文：火災加熱を受ける鋼構造骨組の崩壊温度その 21) 鋼柱の座屈崩壊温度、日本建築学会大会学術講演梗概集（防火）、1998 年 9 月。
- [54] 鈴木弘之・岩井昭夫・小林厚・瀬川孝志：火災加熱を受ける鋼構造骨組の崩壊温度その 5) 箱型断面鋼短柱の高温時応力～歪関係、日本建築学会大会学術講演梗概集（防火）、1993 年 9 月。
- [55] 鈴木弘之・岩井昭夫：円管鋼管短柱の高温圧縮試験、構造工学論文集、Vol. 40B、pp585-593、1994 年 3 月。
- [56] 鈴木弘之・井出義人：火災加熱を受ける鋼構造骨組の崩壊温度その 23) 内柱の局部座屈による架構崩壊温度、日本建築学会耐火学術講演梗概集（防火）、1998 年 9 月。
- [57] 鈴木弘之：火災加熱を受ける鋼構造骨組の崩壊温度その 9) 閉型断面の高温時応力～歪関係、日本建築学会大会学術講演梗概集（防火）、1994 年 9 月。
- [58] 鈴木弘之・種植淳二・中川弘文・大曾根義典・中山洋：火災加熱を受ける鋼構造骨組の崩壊温度その 11) 柱局部座屈による架構の終局温度低減式、日本建築学会大会学術講演梗概集（防火）、1995 年 8 月。
- [59] 鈴木弘之・熊敏孝・井出義人：火災加熱を受ける鋼構造骨組の崩壊温度その 22) Beam-Column の局部座屈挙動解析、日本建築学会大会学術講演梗概集（防火）、1998 年 9 月。
- [60] 鈴木弘之・岩井昭夫・小林厚・瀬川孝志：火災加熱を受ける鋼構造骨組の崩壊温度その 4) 鋼骨組の各種限界温度、日本建築学会大会学術講演梗概集（防火）、1993 年 9 月。
- [61] 鈴木弘之・尾崎文宣・井出義人：火災加熱を受ける鋼構造骨組の崩壊温度その 20) ボルト接合部を含む架構の崩壊温度、日本建築学会大会学術講演梗概集（防火）、1997 年 9 月。
- [62] 鈴木弘之・岩井昭夫：終局時における鋼 H 型断面柱部材の挙動及びその評価法、構造工学論文集、Vol. 39B、pp539-549、1993 年 3 月。
- [63] 鈴木弘之・岩井昭夫：火災加熱を受ける鋼構造骨組の崩壊温度その 8) 梁の横座屈による崩壊温度の低下、日本建築学会大会学術講演梗概集（防火）、1994 年 9 月。
- [64] E. N. Dvorkin and K. J. Bathe : A continuum mechanics based four-node shell element for general nonlinear analysis, Eng., Compt., pp. 77～pp. 88.
- [65] 鈴木敏郎、小河利行、木村克次、元結正次郎、末岡利行：円形開口を有する H 型鋼梁の塑性変形性能について その 1 基本的性状の把握、日本建築学会構造系論文報告集、第 440 号、1992 年 10 月 pp. 105-pp. 111.

- [66] 鈴木敏郎、木村克次、元結正次郎：数値解析手法による薄板のせん断座屈後挙動に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集、第 435 号、1992 年 5 月。
- [67] 鈴木敏郎、木村克次、元結正次郎：円形開口を有する薄肉鋼板の弾塑性せん断座屈挙動に関する数値解析的研究、日本建築学会構造系論文報告集、第 450 号、1993 年 8 月。
- [68] 古村福次郎、右田健児、安部武雄、岡部猛、金和中：火災温度域を考慮した鋼材の応力～歪関係式とその鋼構造骨組熱変形解析への適用、日本建築学会構造系論文報告集、第 363 号、1986 年 5 月。
- [69] 中川弘文、鈴木弘之：鋼梁の崩壊温度に関する実験、構造工学論文集、Vol. 44B、1998 年 3 月。
- [70] A. Rubert, P. Schauman, "Temperaturabhängige Werkstoffeigenschaften von Baustahl bei Brandbeanspruchung", Stahlbau 3/1985.
- [71] J. V. Ryan, A. F. Robertson, "Proposed Criteria for Defining Load Failure of Beams, Floors and Roof Constructions during Fire Test", Journal of Research of the National Bureau of Standards-C, Engineering and Instrumentation, Vol. 63C, No. 2, 1959.
- [72] Stephen P. Timoshenko, James M. Gere, "Theory of Elastic Stability", McGRAW-HILL, INTERNATIONAL EDITIONS, Mechanical Engineering Series Second Edition.
- [73] 東 洋一、「T 形大梁・小梁の協力幅と有効剛度」、日本建築学会構造系論文報告集、第 57 号、昭和 32 年 7 月。
- [74] 東 洋一、大久保金陸：「中央集中荷重時単純支持鉄筋コンクリート T 梁の有効幅と破壊性状」、日本建築学会構造系論文報告集、第 146 号、昭和 43 年 4 月。
- [75] 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、日本建築学会、1991 年。