疲労試験データベースを用いた統計分析による疲労設計曲線の信頼性評価

（国研）土木研究所　正会員　○村井啓太　（国研）土木研究所　正会員　玉越隆史
（国研）土木研究所　正会員　澁谷　敦

1. はじめに

疲労設計で用いられている各継手の疲労強度等級と疲労設計曲線は、それぞれの継手の疲労試験結果の下限、あるいはそれに相当する非超過確率 97.7%の疲労強度が、設定した疲労設計曲線よりも高いことを確かめることにより設定されている。その疲労試験結果は、山田ら[1)]が収集したものから構成される試験結果を集めたデータベース（以降「疲労 DB」と呼ぶ）を用いたものである。その後、森ら[2)]や石原ら[3)]によって疲労試験データの収集、更新がなされている。

また、例えば文献[3)]において、溶接部の形状によって疲労強度が異なることに着目し面外ガセット溶接継手を対象とし、溶接部の脚長の大きさや止端半径によって疲労強度が異なることを分析している。このように疲労 DB を効果的に分析することで疲労強度に影響を与える因子の抽出が可能であり、条件の再分類により疲労設計曲線の精度向上つながる可能性がある。

本研究では、疲労試験データが豊富な面外ガセット溶接継手を対象として、これまでに明らかとなっている疲労強度への影響因子を踏まえつつ、疲労試験データ項目の中で疲労強度に影響を与える因子について、統計分析により再検証するとともに、データのばらつきの変化を確認した。

2. 多変量解析による分析手法

表 - 1 に示す項目のうち、疲労強度への影響が大きい因子を見出し、その組み合わせによってデータを細分化する。本研究では、工学的に意味のある説明性を担保するため、主成分分析と重回帰分析を中心とした多変量解析によりその因子を抽出することを考えた。多変量解析による統計分析手法の流れを図 - 1 に示す。紙面の都合上、具体な条件等についてここでは省略するが、主成分分析により疲労強度に影響を及ぼす因子を抽出し、その因子の組合せのうち説明性の高い組合せについて、重回帰分析により疲労強度との相関性を確認し影響因子を提示する。なお、重回帰分析を実施する場合に多重共線性を回避するため、VIF（Variance inflation factor）による分散拡大要因評価、クラスター分析評価による項目間の相関性が高い項目の洗い出しを行い、主成分分析を実施する対象を絞り込んだ。その際に、そもそものデータの信頼性を確保するために P 値による信頼性評価も併せて実施した。

表 - 1　疲労試験データベースに登録されている主な項目

1. 使用材料	2. 材料規格	3. 圧延方向と荷重方向	4. 機械的性質(降伏点)
5. 機械的性質(引張強さ)	6. 機械的性質(衝撃値)	7. 機械的性質(伸び)	8. 化学成分
9. 溶接方法	10. グループ形状	11. 溶接パス数	12. 曲率半径 ρ
13. フランク角 θ	14. 脚長(主桁	15. 脚長(ガセット)	16. 溶接材料規格
17. 溶接材の系統	18. 溶接棒・ワイヤー直径	19. 溶接姿勢	20. 溶接条件(電流)
21. 溶接条件(電圧)	22. 溶接条件(速度)	23. 入熱量	24. 予熱温度
25. 試験体寸法(幅)	26. 試験体寸法(長さ)	27. 試験体寸法(板厚)	28. ガセット寸法(板厚)
29. ガセット寸法(長さ)	30. ガセット寸法(高さ)	31. 溶接部の仕上げ条件	32. 表面処理方法
33. 熱処理方法	34. 溶接欠陥		

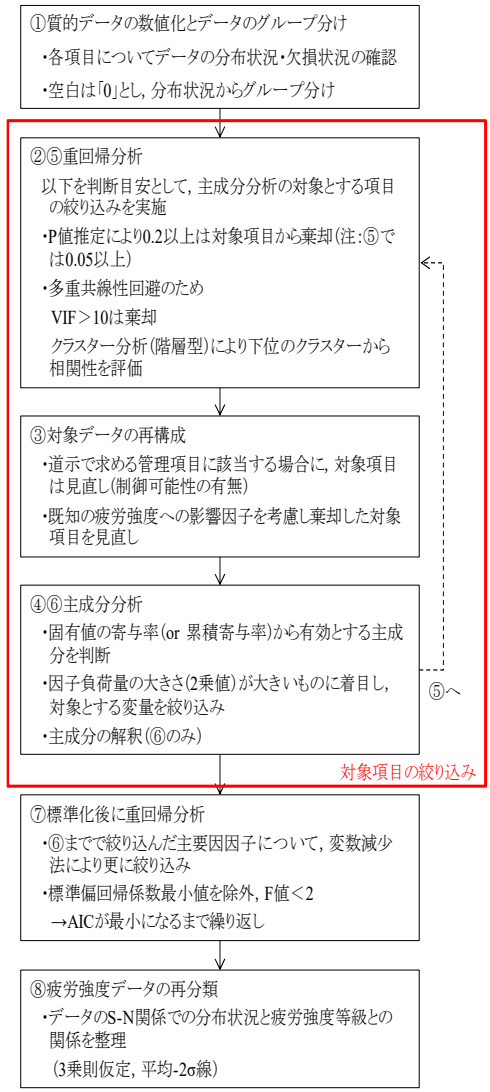


図 - 1　多変量解析の実施フロー

キーワード　多変量解析，信頼性，溶接継手，疲労強度，データベース
連絡先　〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6　（国研）土木研究所　TEL 029-879-6773

3. 考察

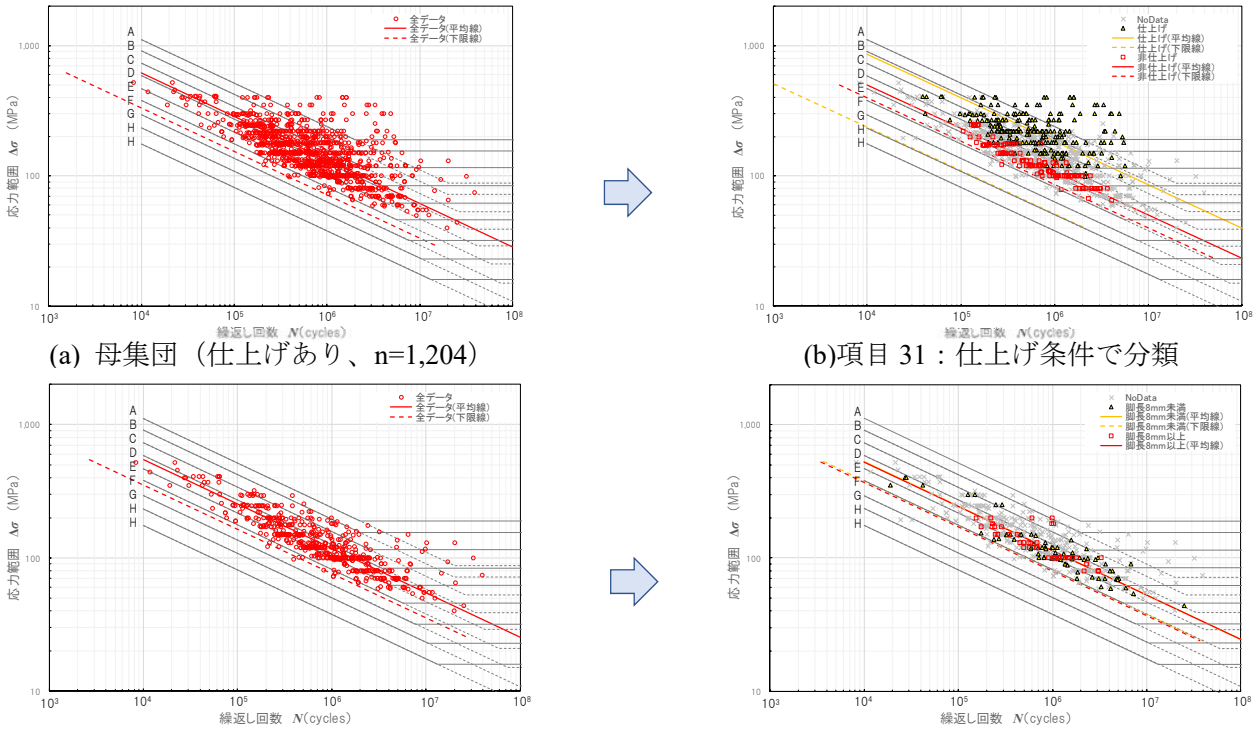
上記の統計分析により、疲労強度に影響を及ぼす要因として抽出された項目は、以下の 6 項目である。

・付加板の形状に起因する応力集中の影響： 29. ガセット寸法（長さ）

・止端部の形状に起因する応力集中の影響： 15. 脚長（ガセット）、31. 仕上げ条件

・溶接条件の影響 ： 17. 溶接材の系統、20. 溶接条件（電流）、23. 入熱量

一軸引張載荷による As-welded 試験体(31.仕上げ条件の場合には仕上げたものも含める。)を母集団にとり、上記の 6 項目で試験結果を分類した結果の例を図 - 2、統計値を表 - 2 に示す。これまでの知見の通り、項目 31 については下限値で 2、3 等級程度の差が出ることが確認された。また、項目 23 を除く 4 項目について、非超過確率 97.7%の値に大きな差はないものの、データばらつきが同等以下に変化することが確認された。



(a) 母集団（仕上げあり、n=1,204）　(b)項目 31：仕上げ条件で分類

(c) 母集団（As-welded、n=552）　(d) 項目 15：脚長で分類

図 - 2　疲労試験データの影響要因による分類

4. まとめ

疲労 DB に格納されているデータを用いて、重回帰分析と主成分分析を主とした多変量解析により疲労強度に影響を及ぼす要因を抽出した。その結果、6 項目まで絞り込むことができた。また、抽出した項目は、それぞれ既知の疲労に影響するとされている項目を多く含んでおり、疲労 DB に多変量解析を用いて統計的に影響因子を絞り込む手法の有効性が確認できた。今後、分析対象データの整理（道示に適用可能な鋼種・載荷条件なのか等）を行うとともに、対象とする溶接継手を増やして検証していく予定である。

表 - 2　疲労試験データの分析結果

項目	項目	データ数	回帰直線の傾き	標準偏差	200万回疲労強度(MPa)	
					平均	非超過97.7%
母集団	aswelded+仕上げ	1204	m=3	0.40	105	57
x31 仕上げ条件	非仕上げ	118	m=3	0.15	85	68
	仕上げ	230	m=3	0.84	147	40
母集団	As-welded	552	m=3	0.29	94	60
x15 脚長(ｶﾞｾｯﾄ)	脚長8mm以上	43	m=3	0.23	90	63
	脚長8mm未満	74	m=3	0.21	90	65
x17 溶接材の系統	被覆ｱｰｸ溶接	86	m=3	0.22	91	65
	ｶﾞｽｼｰﾙﾄﾞｱｰｸ溶接	141	m=3	0.30	94	59
	その他	12	m=3	0.19	93	70
x20 溶接条件（電流）	電流260以下	140	m=3	0.27	92	60
	電流260超	104	m=3	0.25	87	59
x23 入熱量	入熱量15以下	44	m=3	0.46	110	55
	入熱量15以下	76	m=3	0.35	97	57
x29 ガセット寸法(長さ)	100mm超え	292	m=3	0.28	91	59
	100mm以下	175	m=3	0.29	98	63

参考文献

1) 山田健太郎：1987 年度科学研究費研究成果報告書、疲れ試験データベースの作成と疲労許容応力度の評価、1988 年

2) 森猛、南邦明、甲弓子：JSSC 疲労設計指針の溶接継手疲労強度と強度評価法の検討、鋼構造論文集、第 18 巻第 69 号、2011 年 3 月

3) 石原大作、青木康素、村越潤、森猛、舘石和雄、判治剛：疲労照査の信頼性向上に向けた疲労試験データベースの活用と今後の課題、土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集、2016 年 9 月