

2 スパン連続ばりの実験強度、理論強度、設計強度の相互関係について

金沢工業大学 学生会員 植田 良孝
金沢工業大学 正会員 西田 進

1. まえがき

鋼構造物を合理的に設計するためには、その耐力と弾性限度を正確に知ることが重要である。これらの強度を推定する手段として理論解析があり、実務上簡易に計算する方法として設計式がある。実験によって得られたこれらの強度と理論解析によって得られた理論強度は一致することが望ましいし、設計においては、できるだけ簡便かつ精度良く実験強度に対応する必要がある。理想的には図-1のように、実験強度、理論強度、設計強度は一致することが望ましい。しかし、想定している実験条件と実際の実験条件は異なる。その条件を情報として取り出すこともまた困難である。実際の理論解析では、理想的な条件に基づいて解析を行っており、理論強度と実験強度は一般には一致しない。また、設計においては、その設計方式自体に問題が指摘されている。現在用いられている耐力力方式の設計では、等曲げ、単純支持といった最も簡単な条件に基づいた耐力力曲線を基本にしており、条件が異なる場合には、各種係数により対応している。しかし、そのような方法では精度に限界があると考えられる。一方、耐力力方式の問題点を克服するものとして、線形化有限変位理論による設計も提案されているが、等価初期たわみの設定に問題を抱えている。実際は図-2のように、これらの強度間には不明確さが存在し、強度の整合がとれていない状態にあり、いかに実際の強度と理論強度及び設計強度の整合をはかるかが問題である。

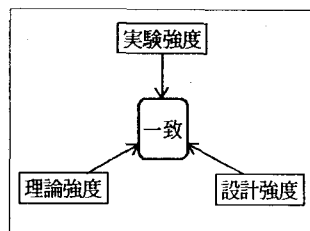


図-1 強度間の理想的関係

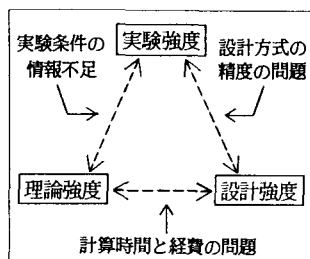


図-2 実際の強度間の関係

本報告では、これら強度間の相互関係を解明するため、2スパン連続ばりの実験結果を用いて、実験弾性限度及び耐力力と線形化有限変位方式による弾性限度及び伝達マトリックス法（非線形解析）による耐力力そして耐力力方式による弾性限度及び耐力力の相互の関連性について検討を行ったので、以下に報告する。

2. 耐力力方式と線形化有限変位方式

耐力力方式にはその代表例として、東海鋼構造研究グループが抵抗強度項の合理的な設計フォーマット作成の立場から検討し提案した設計法であるSGSTフォーマットを用いた¹⁾。座屈、不安定を伴う構造部材の終局強度は、一般に耐力力曲線であるところの細長比λの関数で表される。しかし、耐力力と弾性限度をどのようにとるかによってその値はかなり変動する。そこでSGSTフォーマットでは、材料係数、製作係数、設計係数などのばらつきから設計式の信頼性を評価し、抵抗係数を決定している。

線形化有限変位方式とは、適切な初期不整を与えた構造系を線形化有限変位理論で解き、求めた最大応力が初期降伏することをもって設計照査を行う方法である。しかし、初期不整量の与え方により、実質的照査内容が変わるのでその扱いには注意が必要である。与える初期不整量は固有値解析により対応することも可能である。固有値解析を実施することで最も危険な座屈モードを求め座屈変位の相対的最大値に等価初期たわみを与えることで構造物全体の初期たわみ形状を決め、この方法により全ての初期不整の影響を考慮する。これにより求まる最大応力が初期降伏することで設計照査することは、耐力力に対する一種の近似であるが、現実には過大な変形を生じる前に降伏する薄肉集成断面の多い鋼構造物では、設計上、安全側の許容し得る近似と考えてよい、と長谷川らは述べている²⁾。

3. 実験強度と理論強度の比較

表-1～4は、それぞれsin半波、sin1波の初期変形を与えた直線ばり($U_0/L=1/1000$)及び初期不整ばり($U_0/L=1/500$)の実験強度、理論強度、設計強度を示したものである。なお、平成3年度の研究成果より、線形化有限変位方式における等価初期たわみとして設定初期変形量の2倍を与えた。

表-1 sin半波の初期変形を与えた2スパン連続直線ばりの強度

シリーズ名	P_{UE} (kg)	P_{EE} (kg)	P_{UT} (kg)	P_{ET} (kg)	P_{UD} (kg)	P_{ED} (kg)	P_{UT} P_{UE}	P_{ET} P_{EE}	P_{UD} P_{UE}	P_{ED} P_{EE}
SCA-505/S	1855	—	1641	1959	2264	1911	0.885	—	1.220	—
SCB-505/S	1881	1320	1650	1426	1782	1479	0.982	1.080	1.060	1.120
SCA-600/S	1645	1360	1755	1874	2317	1756	1.067	1.378	1.409	1.291
SCB-600/S	836	717	823	951	1103	872	0.984	1.326	1.319	1.216
SCA-300/S	4258	3250	5119	4051	4904	3836	1.202	1.246	1.152	1.180
平均値							1.024	1.258	1.232	1.202
標準偏差							0.106	0.113	0.122	0.062
変動係数							0.104	0.090	0.099	0.051

表-2 sin半波の初期変形を与えた2スパン連続初期不整ばりの強度

シリーズ名	P_{UE} (kg)	P_{EE} (kg)	P_{UT} (kg)	P_{ET} (kg)	P_{UD} (kg)	P_{ED} (kg)	P_{UT} P_{UE}	P_{ET} P_{EE}	P_{UD} P_{UE}	P_{ED} P_{EE}
SCA-505/C	1647	1340	1595	1825	2264	1911	0.968	1.362	1.375	1.426
SCB-505/C	1481	1130	1636	1392	1782	1479	1.105	1.232	1.203	1.309
SCA-600/C	1552	1270	1738	1790	2317	1756	1.120	1.409	1.493	1.383
SCB-600/C	859	722	802	918	1103	872	0.934	1.271	1.284	1.208
SCA-300/C	3978	3000	5119	3963	4904	3836	1.287	1.321	1.233	1.279
平均値							1.083	1.319	1.318	1.321
標準偏差							0.126	0.063	0.105	0.077
変動係数							0.116	0.048	0.080	0.058

表-3 sin1波の初期変形を与えた2スパン連続直線ばりの強度

シリーズ名	P_{UE} (kg)	P_{EE} (kg)	P_{UT} (kg)	P_{ET} (kg)	P_{UD} (kg)	P_{ED} (kg)	P_{UT} P_{UE}	P_{ET} P_{EE}	P_{UD} P_{UE}	P_{ED} P_{EE}
SCA-505/S'	1869	1603	1574	1758	2192	1851	0.842	1.097	1.173	1.155
SCB-505/S'	1426	1045	1506	1375	1751	1423	1.056	1.316	1.228	1.362
SCA-600/S'	1720	1414	1625	1694	2238	1696	0.945	1.198	1.301	1.199
SCB-600/S'	895	815	789	872	1071	847	0.882	1.070	1.197	1.039
SCA-300/S'	4385	3275	4894	3915	4708	3682	1.116	1.195	1.074	1.124
平均値							0.968	1.175	1.194	1.178
標準偏差							0.103	0.087	0.074	0.107
変動係数							0.107	0.074	0.062	0.091

表-4 sin1波の初期変形を与えた2スパン連続初期不整ばりの強度

シリーズ名	P_{UE} (kg)	P_{EE} (kg)	P_{UT} (kg)	P_{ET} (kg)	P_{UD} (kg)	P_{ED} (kg)	P_{UT} P_{UE}	P_{ET} P_{EE}	P_{UD} P_{UE}	P_{ED} P_{EE}
SCA-505/C'	1644	1298	1501	1585	2192	1851	0.913	1.221	1.333	1.426
SCB-505/C'	1426	1167	1429	1275	1751	1423	1.002	1.093	1.228	1.362
SCA-600/C'	1661	1465	1563	1530	2238	1696	0.941	1.044	1.347	1.158
SCB-600/C'	766	669	751	788	1071	847	0.980	1.178	1.398	1.286
SCA-300/C'	3787	2930	4984	3589	4708	3682	1.292	1.225	1.243	1.257
平均値							1.026	1.152	1.310	1.265
標準偏差							0.137	0.072	0.065	0.089
変動係数							0.133	0.062	0.049	0.070

実験耐力で無次元化した伝達マトリックス法による理論耐力 P_{UT}/P_{UE} の平均値は、全ての場合で1.0に近い値となった。しかし、変動係数が0.104～0.133と大きく、精度が良いとは言えない。特に初期不整ばりの場合にばらつきが大きい。これはSCA-300シリーズの理論耐力が単純塑性理論による崩壊荷重まで達し、実験耐力よりもかなり大きくなったためである。また、SCA-505シリーズでは全体的に小さな値となり、条件が異なるにも関わらず、特定のケースで同様の傾向を示している。これは単なるばらつきとは言えない。実験弾性限度で無次元化した線形化有限変位論による理論弾性限度 P_{ET}/P_{EE} の平均値は、全体的に1.0よりも大きい。これは与えた等価初期たわみの倍率($X=2$)が適切でなかったと言える。詳細に検討すると、半波の直線ばりで1.258、初期不整ばりで1.319とかなり大きな値となり、1波ではそれぞれ1.175、1.152と比較的1.0に近いことがわかる。これは与えた初期変形量が同じであるのに、変形パターンによって得られる理論値の精度が異なることを示している。

4. 実験強度と設計強度の比較

実験耐力で無次元化した耐力方式による設計耐力 P_{UD}/P_{UE} は、全体的に1.0よりもかなり大きな値となり、初期不整ばりの場合には特に大きな値である。耐力方式による設計は初期不整の小さい部材を対象としており、初期不整ばりは製作精度を越えているのでこれは当然の結果といえよう。なお、 P_{UE} は設計耐力を用いた単純塑性理論による崩壊荷重である。また、変動係数から半波の方がばらつきが大きいことがわかる。実験弾性限度で無次元化した設計弾性限度 P_{ED}/P_{EE} は、平均値については耐力の場合と同様であるが、変動係数は1波の方が半波よりも大きい。

5. まとめ

以上より、耐力方式では P_{UD}/P_{UE} と P_{ED}/P_{EE} の平均値がほぼ等しく、極端に変動係数が大きなものもなく、得られた強度を全体に低減することで実験強度と整合できるものと考えられる。また、線形化有限変位理論においては、適切な等価初期たわみの決定と初期変形パターンの影響の検討が必要である。

参考文献 1) 福本嘯士：鋼骨組構造物の極限強度の統一評価に関する総合的研究，科研報告書，1990
2) 長谷川彰夫・西野文雄：線形化有限変位理論による構造物の設計法の提案，土木学会第44回年次学術講演会，I-28，1989。3) Nethercot, D.A. and N.S. Trahair: Lateral Buckling Approximation for Elastic Bending, The Structural Engineer, Vol.54, No.6, pp.197～204, June 1976