

低次の不静定ばりの弾性限度及び耐荷力の推定について

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、その弾性限度と耐荷力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強度と理論解析によって得られた強度は一致することが望ましい。しかし、解析上の仮定や初期不整が存在するため実際の実験条件と解析条件は異なる。その条件を情報として取り出すこともまた困難であり、理論値そのものに精度の限界がある。また、設計においては、できるだけ簡便かつ精度良く実強度に対応する必要がある。現在用いられている耐荷力方式の設計では、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、実用上このような方法では精度に限界があると考えられる。一方、耐荷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基づく設計も提案されている。

本報告では、材料非線形性、幾何学的非線形性を考慮した伝達マトリックス法を用いて理論強度を、線形化有限変位方式及び耐荷力方式を用いて設計強度を推定し、2スパン連続ばりの実験結果(弾性限度及び耐荷力)に基づき、その整合性の検討を行ったので、以下に報告する。

2. 耐荷力方式と線形化有限変位方式

耐荷力方式による不静定ばりの強度は、図-1の流れに従って求める。①文献1)の方法を用いて座屈モーメント M_{cr1} を計算し、強度低減係数 κ_{b1} を求め、荷重 P_{U1} を算出する。②モーメントが $\kappa_{b1} \cdot M_P$ に達した点をヒンジと仮定する。第1塑性ヒンジは中間支点か荷重作用点に生じるので、ヒンジ発生後の静定ばりは単純ばりか張り出しばりを考え、有効座屈長さ係数は $K=1$ か $K=2$ とする。静定ばりを考え、 $\kappa_{b2} = \kappa_{b1}$ と仮定したモーメント分布より M_{cr2} を計算し、 κ_{b2} を求める。③②で求めた κ_{b2} よりモーメント分布を修正する。新たに M_{cr2} を計算し、 κ_{b2} を決定する。 ΔP_U を算出し、 $P_{UD} = P_{U1} + \Delta P_U$ を耐荷力とする。なお、①の最大モーメントが $\kappa_{b1} \cdot M_P$ となる荷重を弾性限度 P_{ED} とした。

線形化有限変位方式とは、有効座屈長の概念を用いず、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²⁾。計算手順を図-2に示す。まず、固有値解析を実施し、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。今回は、2スパン連続ばりの実験結果より、座屈モードがsin1波に近い形となることがわかっているので、固有値解析は行わず、等価初期たわみ形状としてはsin1波に近似し、たわみ量としては規定値(直線ばり:

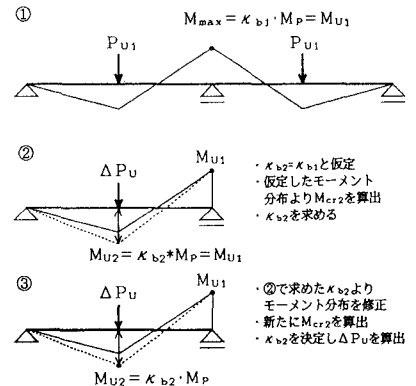


図-1 耐荷力方式の計算手順

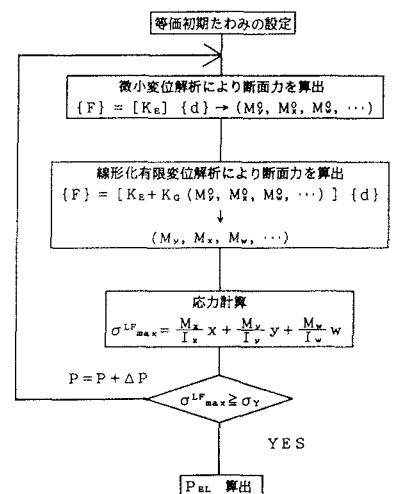


図-2 線形化有限変位方式の計算手順

$U_0/L=1/1000$ ，初期不整ばり： $U_0/L=1/500$ ）の X 倍（ X は整数）を与える。

3. 結果及び考察

表-1～4はそれぞれ直線ばりとsin波、sin半波の初期変形（ $U_0/L=1/500$ ）を与えた初期不整ばりの実験強度、そして非線形解析、線形化有限変位方式（LFDA）及び耐荷力方式により推定された弾性限度と耐荷力を実験強度でそれぞれ無次元化した値を示している。

非線形解析による弾性限度の平均値は全体的に小さな値となり、耐荷力の平均値は弾性限度に比べて1.0に近い値となった。しかし、どちらもばらつきが比較的大きい。これは初期不整として実測初期変形をsin波またはsin半波にモデル化していることや、他の初期不整のばらつきのためと考えられる。

線形化有限変位方式の場合、実験弾性限度で無次元化した P_{EL}/P_{EE} 値の平均値は1.2～1.3となり、精度良く推定できない。一方、実験耐荷力で無次元化した P_{UL}/P_{UE} 値の平均値は全体的にほぼ1.0に等しい。ばらつきも表-1のSシリーズを除いて小さく、精度良く実験値を推定している。 $X=2$ の場合では、平均値が全て1.0よりも小さく安全側の値となり、ばらつきはより小さくなる。

耐荷力方式は初期不整の小さな部材を対象としているので、まず直線ばりに注目する。弾性限度はばらつきが大きく、精度良く推定されない。一方、耐荷力の平均値はほぼ1.0に等しい。ばらつきも小さく精度良く実験値を推定している。初期不整ばりの場合には、弾性限度のばらつきが大きく、耐荷力の平均値が比較的1.0より大きな値となり、どちらも精度良く推定できない。これは実験値が低下しているのに対し、推定値が直線ばりの場合と変わらないためである。

4. まとめ

以上より、通常の低次な不静定ばりでは、単純塑性理論に座屈を考慮した抵抗モーメントを適用することで、簡単に精度良く耐荷力を推定できた。また、初期不整の大きなはりについては、初期たわみ量と、等価初期不整量（ X ）の設定で調整できるため、線形化有限変位方式による耐荷力推定が有効であると考えられる。参考文献 1）福本誘士他：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。

表-1 2スパン連続ばりの強度

	シリーズ名	実験強度		非線形解析		LFDA (X=1)		(X=2)		耐荷力方式	
		P_{EE} (kg)	P_{UE} (kg)	P_{EN} P_{EE}	P_{UN} P_{UE}	P_{EL} P_{EE}	P_{UL} P_{UE}	P_{UL} P_{UE}	P_{ED} P_{EE}	P_{UD} P_{UE}	
直線	SCA-505/S		1855		0.889		1.033	0.955		1.003	
	SCB-505/S	1320	1681	0.901	0.945	1.102	0.865	0.856	0.877	0.894	
	SCA-600/S	1360	1645	1.105	1.040	1.346	1.113	1.032	0.968	1.029	
	SCB-600/S	717	836	0.983	0.957	1.301	1.116	1.053	0.893	1.089	
	SCA-300/S	3250	4258	0.927	1.101	1.267	0.967	0.954	1.074	1.022	
		平均値			0.979	0.987	1.254	1.019	0.970	0.953	1.007
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											
波											

表-2 sin半波の初期変形を与えた2スパン連続ばりの強度

シリーズ名		実験強度		非線形解析		LFDA (X=1)		(X=2)		耐荷力方式	
		P _{EE} (kg)	P _{UE} (kg)	P _{EN} (kg)	P _{UN} (kg)	P _{EL} (kg)	P _{UL} (kg)	P _{UL} (kg)	P _{UE} (kg)	P _{ED} (kg)	P _{UD} (kg)
半波	SCA-505/C	1340	1647	1.011	0.951	1.322	1.075	0.971	1.057	1.130	
	SCB-505/C	1130	1481	1.024	1.063	1.273	0.972	0.880	1.025	1.014	
	SCA-600/C	1270	1552	1.175	1.100	1.336	1.093	0.990	1.037	1.090	
	SCB-600/C	722	859	0.943	0.916	1.219	1.024	0.925	0.886	1.059	
	SCA-300/C	3000	3978	0.980	1.155	1.354	1.021	0.931	1.164	1.094	
		平均値			1.027	1.037	1.301	1.037	0.940	1.034	1.077
		標準偏差		0.079	0.090	0.049	0.043	0.038	0.089	0.039	
		変動係数		0.077	0.087	0.038	0.042	0.041	0.086	0.036	

表-3 2スパン連続ばりの強度

シリーズ名		実験強度		非線形解析		LFDA (X=1)		(X=2)	耐荷力方式	
		P _{EE} (kg)	P _{UE} (kg)	P _{EN} P _{EE}	P _{UN} P _{UE}	P _{EL} P _{EE}	P _{UL} P _{UE}	P _{UL} P _{UE}	P _{ED} P _{EE}	P _{UD} P _{UE}
直線	SCA-505/S'	1603	1869	0.906	0.873	1.168	1.002	0.925	0.872	0.978
	SCB-505/S'	1045	1426	1.092	1.092	1.330	0.975	0.966	1.108	1.053
	SCA-600/S'	1414	1720	1.013	0.990	1.271	1.045	0.966	0.917	0.969
	SCB-600/S'	815	895	0.836	0.884	1.106	1.007	0.960	0.775	0.997
	SCA-300/S'	3275	4385	0.861	0.991	1.204	0.899	0.890	1.031	0.961
波	平均値			0.941	0.966	1.216	0.985	0.941	0.941	0.991
	標準偏差			0.097	0.081	0.078	0.049	0.030	0.117	0.033
	変動係数			0.103	0.083	0.064	0.049	0.032	0.125	0.034

表-4 sin波の初期変形を与えた2スパン連続ばりの強度

シリーズ名		実験強度		非線形解析		LFDA($\lambda=1$)		($\lambda=2$)		耐荷力方式		
		P_{EE} (kg)	P_{UE} (kg)	P_{EN} P_{EE}	P_{UN} P_{UE}	P_{EL} P_{EE}	P_{UL} P_{UE}	P_{UL} P_{UE}	P_{UL} P_{UE}	P_{ED} P_{EE}	P_{UD} P_{UE}	
波	SCA-505/C'	1298	1644	0.903	0.895	1.257	0.992	0.948	1.077	1.111		
	SCB-505/C'	1167	1426	0.766	0.972	1.180	0.966	0.885	0.992	1.053		
	SCA-600/C'	1465	1681	0.868	0.925	1.134	1.000	0.904	0.885	1.003		
	SCB-600/C'	669	766	0.776	0.916	1.284	1.121	1.012	0.945	1.164		
	SCA-300/C'	2930	3787	0.958	1.141	1.331	1.030	0.942	1.152	1.112		
		平均値			0.854	0.970	1.237	1.022	0.938	1.010	1.089	
		標準偏差			0.074	0.089	0.071	0.054	0.044	0.095	0.056	
	変動係数			0.086	0.092	0.058	0.053	0.046	0.094	0.051		

P_{EE} ：実験弾性限度

P_{UE} ：実験耐荷力

P_{EL} ：線形化有限変位方式による弾性限度

P_{UL} ：線形化有限変位方式による耐荷力

P_{EN} ：非線形解析による弾性限度

P_{UN} ：非線形解析による耐荷力

P_{ED} ：耐荷力方式による弾性限度

P_{UD} ：耐荷力方式による耐荷力