

大阪大学大学院 学生員 ○鈴木雄大 大阪大学大学院 正会員 小野 潔
鳥取大学 正会員 池内智行 大阪大学大学院 フェロー 西村宣男

1. 研究の背景と目的

兵庫県南部地震により、あらためて土木構造物の耐震性確保の重要性が認識された。既往の研究では、正方形断面鋼製橋脚の耐震性能に関する研究が多くなされており、最大水平荷重、最大荷重時変位の算定式¹⁾²⁾も確立している。一方で長方形断面鋼製橋脚に関する研究はまだ十分でなく、その耐震性能が明らかにされているとは言えない。耐震性能を評価する方法には、実験により鋼製橋脚の挙動を明らかにする方法と、数値解析による方法が考えられる。実験による方法では、その規模の大きさや実験にかかる時間、予算の都合などから多く実施することが困難である。そこで実験のみではデータが足りないところを解析によって補完する必要がある。そのためには解析プログラムの精度が重要となってくる。本研究で用いている解析プログラムが、長方形断面鋼製橋脚の耐震性能を正確に評価できるか明らかではない。そこで本研究では、解析プログラムの精度を検証することとした。

2. 解析方法

解析プログラムは、本研究室で開発された弾塑性有限変位解析プログラム CYNAS³⁾を元に、構成式の一部を修正⁴⁾して使用する。初期たわみや残留応力は考慮していない。構成式には鋼材ごとに決まる材料パラメータが含まれている。本来は実験で求める必要があるが、そのような実験が行われていないため文献3、4に示されている値を用いることとした。荷重載荷は、橋脚に一定の軸力を作用させた状態で、橋脚の頂部に降伏水平変位 δ_{y0} の整数倍の変位を交番載荷させた。その時の水平荷重や、水平変位などを解析で求める。

3. 解析プログラムの正方形断面鋼製橋脚モデルへの適用について

解析プログラムが、正方形断面鋼製橋脚モデルの正負交番載荷実験の解析において、実験を精度よく表せるか確認されていない。そこで、正方形断面モデルの実験の解析において十分な精度を持っているかどうか検証を行った。ここで既往の実験として、表-1に示す諸元の正方形

表-1 モデル諸元

供試体	鋼種	鋼材降伏点 σ_{yk} (MPa)	外径寸法 (mm)	断面積 A (cm^2)	幅厚比パラメータ		パネル数	板厚 t (mm)	有効長 l=2h (cm)
					R_g	R_f			
M20	SM490	354	900*900	474.4	0.33	0.34	6	10	684.6
M22	SM490	354	900*900	538	0.33	0.24	6	10	684.6

供試体	断面二次モーメント I (cm^4)	細長比 パラメータ λ	縦リブ寸法 a (mm)	横リブ間隔 b (mm)	リブ剛度		軸力 N (kN)	軸力比 N/N _{yk}	軸力比 N/N _{yk}
					τ_1/τ_1^*	τ_1/τ_1^{**}			
M20	593080	0.256	74*8	600	0.91	2.42	2236	0.15	0.13
M22	653225	0.259	91*10	600	1.83	4.84	2530	0.15	0.13

表-2 最大荷重と最大荷重時変位の比較

供試体	解析値		実験値	
	最大荷重 H _{max} (kN)	最大荷重時変位 δ_{Hmax} (mm)	最大荷重 H _{max} (kN)	最大荷重時変位 δ_{Hmax} (mm)
M20	1817	63.5	1810	64.5
M22	2088	76.2	2064	84.4

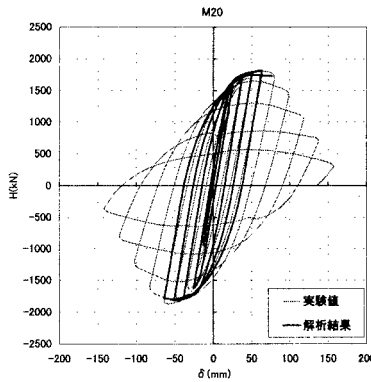


図-1 解析結果 (M20)

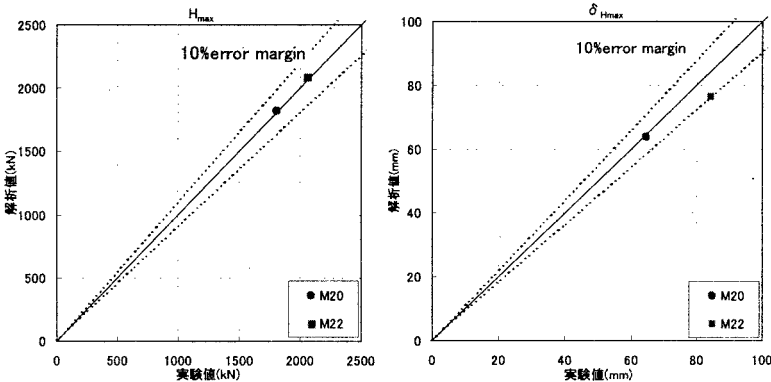


図-2 最大荷重・最大荷重時変位の比較

断面コンクリート無充填・縦リブを有する正方形断面供試体¹⁾を対象とした。

実験結果と、構成式を修正した解析プログラムの解析結果を比較した結果を図-1に示す。表-2、図-2にそれぞれのモデルについて最大荷重、最大荷重時変位をまとめた。横軸に実験値、縦軸に解析値をとった。実線は(実験値=解析値)を表し、破線は10%誤差範囲を表している。解析結果と実験値が合っていない原因として、残留応力や、初期たわみが入っていないことが考えられる。最大水平荷重、最大荷重時変位は、精度よく再現できた。この解析では、構成式に含まれる材料パラメータを既往の研究から引用しているが、実験から求めることができればさらに精度のよい解析となることが予想される。以上の結果より、構成式を修正した解析プログラムが正方形断面モデルの実験を精度よく再現できることが確認された。

4. 解析プログラムの長方形断面鋼製橋脚モデルへの適用について

次に、長方形断面コンクリート無充填柱の解析において十分な精度を持っているかどうか検証した。解析モデルは、文献5に示されている辺長比が1:2の供試体とした。強軸方向に載荷したものの、弱軸方向に載荷したものの、2つの供試体について検討を行った。モデルの諸元を表-3に示す。

表-3 モデル諸元

供試体	鋼種	降伏点 σ_y (MPa)	外径寸法 (mm)	断面積 A (cm ²)	断面二次 モーメント I (cm ⁴)	断面二次 半径 r (cm)	縦長比 パラメータ λ (cm)	有効長 l=2h (cm)	縦リブ間隔 (mm)	軸力 N (kN)	軸力比 N/N _y
弱軸	SS400	310.4	300*600	135.4	0.50	2	4	6			
強軸	SS400	310.4	600*300	135.4	0.49	4	2	6			
供試体	縦リブ寸法 (mm)	断面二次 モーメント I (cm ⁴)	断面二次 半径 r (cm)	縦長比 パラメータ λ (cm)	有効長 l=2h (cm)	縦リブ間隔 (mm)	軸力 N (kN)	軸力比 N/N _y			
弱軸	60*6	20822	12.4	0.51	510	450	593.3	0.14			
強軸	60*6	60366	21.1	0.30	510	450	593.3	0.14			

表-4 実験値と解析値の比較

供試体	解析値		実験値	
	最大荷重 H _{max} (kN)	最大荷重時変位 δ_{Hmax} (mm)	最大荷重 H _{max} (kN)	最大荷重時変位 δ_{Hmax} (mm)
弱軸	229.3	51.3	242.2	69.2
	-232.7	-52.7	-230.5	-57.0
強軸	397.6	39.5	370.1	35.6
	-399.6	-32.2	-397.0	-39.2

解析結果の最大水平荷重および最大荷重時変位を表-4にまとめた。これを正方形断面と同様に横軸に実験値、縦軸に解析値を取り、解析の精度を確認した(図-3)。最大荷重は10%誤差領域に入っており、非常に精度良く実験を再現できている。最大水平荷重時変位には若干のずれがある。これは材料パラメータを実験から求めているためであると考えられ、これらを実験から求めることができればさらに精度のよい解析となることが予想される。

5. まとめ

- ① 構成式を修正した弾塑性有限変位解析プログラムを用いて、正方形断面鋼製橋脚の最大水平荷重、最大荷重時変位を精度よく求められることを確かめた。ただし、荷重-変位曲線には実験値と一致しない部分もあった。これらは、初期たわみや残留応力の導入、正確な材料パラメータを求めることでさらに精度を上げることが可能である。
- ② 長方形断面鋼製橋脚についても、弾塑性有限変位解析プログラムで最大水平荷重、最大荷重時変位の精度について確認した。最大水平荷重は実験値と一致したが、最大荷重時変位には若干のずれが生じた。しかしこれらについても、初期たわみや残留応力の導入、正確な材料パラメータを求めることでさらに精度を上げることが可能である。これにより、長方形断面鋼製橋脚の耐震性能を正確に評価することができる。

【参考文献】

- 1)建設省土木研究所：道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書(総括編)、第219号、1999。
- 2)(社)土木学会・(社)日本鋼構造協会：鋼構造の耐震解析用ベンチマークと耐震設計法の高度化、2000
- 3)池内智行：鋼材の塑性履歴構成式の定式化と繰り返し外力を受ける鋼構造の変形能の評価への応用に関する研究、大阪大学学位論文、1998
- 4)鈴木雄大、小野潔、西村宜男：繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の実用的構成式、第56回年次学術講演会講演概要集、I-A248、pp.568-569、2001
- 5)(社)日本橋梁建設協会：鋼製橋脚の耐震設計マニュアル(ラーメン橋脚等の実験および実績調査編)、2001

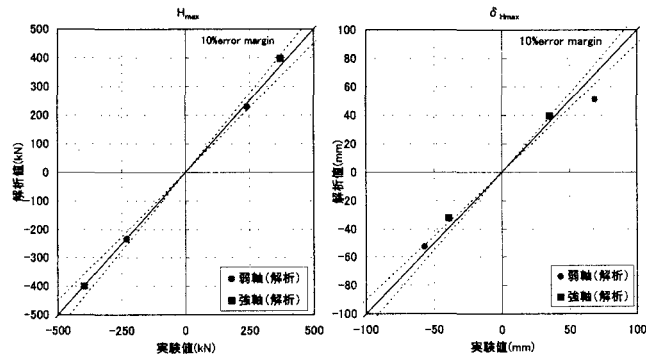


図-3 実験値と解析値の比較