

1. はじめに 都市高架道路の橋脚構造として多用される鋼製ラーメン(Fig. 1)において地震力のような繰返し荷重が作用する場合の塑性履歴特性を明らかにするために、骨組構造物用の非線形解析プログラムの機能を拡張した。第1点は鋼材の繰返し塑性履歴に関する構成式を導入すること、第2点は隅角部の局部変形を考慮するためのマクロ要素の開発である。そしてこれらの拡張を行った上で、ラーメンの繰返し塑性履歴を求めることとした。

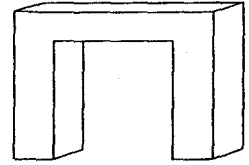
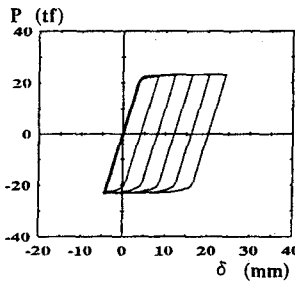


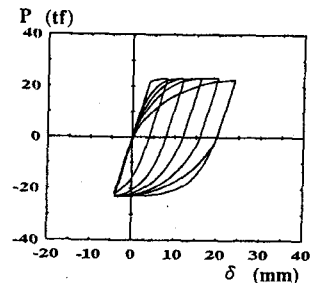
Fig.1 鋼製ラーメン

2. 非線形解析プログラム 本研究室で開発された骨組構造物用の弾塑性有限変位解析プログラム¹⁾を繰返し荷重が可能のように拡張する。従来のプログラムでは材料は完全弾塑性体(bi-linear)とみなしているが、大きな塑性ひずみ履歴を扱えるようにひずみ硬化を導入するとともに、鋼材の繰返し変形特性を精度よく表現できる構成式²⁾を導入した。そして、これを用いて片持ばりを対象

にして繰返し荷重における変形挙動を、2つの材料特性、bi-linear型と構成式型についてシミュレーションを行った結果をFig. 2に示す。この図のように構成式を導入した場合、ひずみの増加とともに弾性域が減少し非線形の遷移領域が生じており、実際の構造物における挙動を再現させることができている。



(a) bi-linear 型



(b) 構成式型

Fig. 2 片持ばりの解析

3. 隅角部マクロ要素 隅角部の変形を考慮したラーメンの全体解析を行うためにFig. 3のような隅角部専用のマクロ要素を考案した。またこのマクロ要素の変形特性は、過去に行ったL型ラーメン模型実験およびFEM解析より、その隅角部ウェブパネルに作用するせん断力 V とせん断変形角 γ の関係³⁾を鋼材の構成式をもとに定式化を行った。そして、過去に行ったL型ラーメン実験の再現をした結果をFig. 4に示す。シミュレーションの結果は単調および繰返し荷重とも実際の再現ができている。

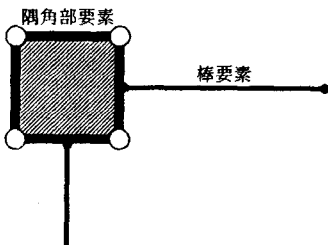
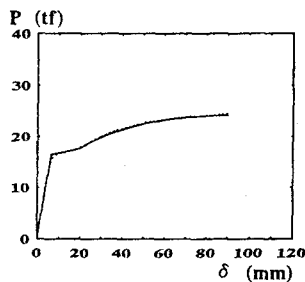
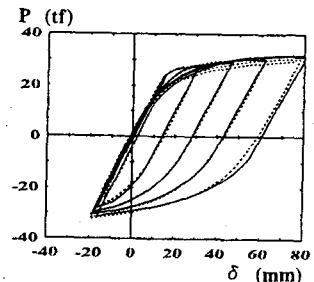


Fig. 3 隅角部マクロ要素



(a) 単調荷重



(b) 繰返し荷重

Fig. 4 L型ラーメン実験の再現

4. 鋼製ラーメン解析 以上のように骨組解析用プログラムの機能の拡張を行った上で、Fig. 5 に示すような鋼製ラーメンモデルを作成し繰り返し荷重を作用させシミュレーションを行った。その結果を Fig. 6 に、また解析諸元を Table 1 に示す。横荷重のみを受けるラーメンの塑性履歴は、Fig. 2 や Fig. 4 の片持ちばりや L 型ラーメンのシミュレーション結果と比較すると片持ちばりの履歴特性に近い履歴を描くことがわかる。これは、ラーメン柱部材の基部の塑性履歴が卓越していることによる。隅角部では隅角部ウェブパネル全面が一様に降伏するのに対し一般部材では、フランジの降伏から徐々にウェブの降伏部分が増えていく形式の断面の塑性化があらわれる。また、細長比パラメータを 0.2, 0.3, 0.4 と変化させてシミュレーションを行ったところ、細長比パラメータが大きくなるとともに隅角部の影響が大きくなって弾性域の縮小が顕著に現れる。これは、はじめの除荷を行う時点(δ_y)で隅角部での降伏が基部での降伏より先行しているためである。また、実際の橋脚構造では、上部構造物の死荷重が載荷しており隅角部に作用するモーメントは、このシミュレーションの場合より大きくなり隅角部での降伏が先行しやすくなっていると考えられる。したがって、このような場合には隅角部の変形を考慮することが重要になる。

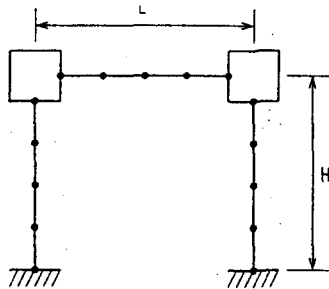


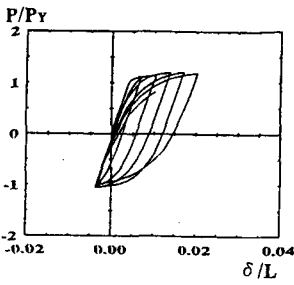
Fig. 5 鋼製ラーメンモデル

Table 1 解析モデル諸元

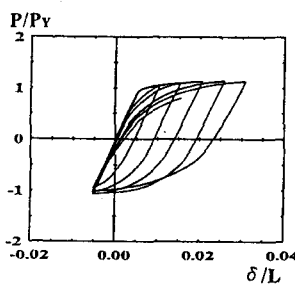
Specimen	B	t_f	D	t_w	L	H	$\bar{\lambda}$
B-1	27.0	0.9	21.0	0.6	140.0	140.0	0.202
					210.0	210.0	0.303
					280.0	280.0	0.404

単位：cm，鋼種：SS400

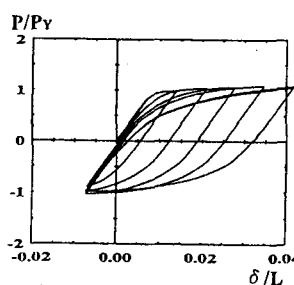
$$\bar{\lambda} = \frac{l}{r} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \quad \left(r = \sqrt{\frac{I}{A}}, l = \beta \cdot H \right)$$



(a) $\lambda = 0.2$



(b) $\lambda = 0.3$



(c) $\lambda = 0.4$

Fig. 6 鋼製ラーメンの塑性履歴

5. 結論 隅角部の変形を考慮してラーメンの繰り返し塑性履歴を求めたが、横荷重を受けるラーメンの繰り返し履歴は死荷重による曲げモーメントや柱部材の細長比の影響によりその基部の塑性履歴と隅角部の塑性履歴が複合した挙動を呈することがわかった。今後計算の効率化のために、この基部の特性を表現できるマクロ要素の開発を行い、解析プログラムに組み込むことで地震力の作用するラーメンの動的解析を行い、ラーメンの地震時におけるダメージレベルの判定基準の提案ならびに実証のためのハイブリッド実験を行う予定である。

参考文献

- 1) 大野正人：薄肉開断面よりなる骨組の非線形解析に関する研究，大阪大学修士論文，1982. 2
- 2) 西村宣男他：各種鋼材の繰り返し塑性履歴特性に関する実験的研究，鋼構造論文集，Vol. 1, No. 1, 1994.
- 3) 黄元燮：鋼製ラーメン橋脚隅角部の弾塑性挙動と限界状態照査法に関する研究，大阪大学博士論文，1993. 7