

徳島大学工学部

正会員 成行 義文

徳島大学工業短期大学部

正会員 平尾 繁

徳島大学工学部

正会員 児嶋 弘行

1. まえがき

変形硬化荷重については、すでに多くの研究がなされ、種々の解析法が提案されているが、それらのほとんどは、塑性域の振がりと塑性関節に集約した線形弾塑性解析を基本としたものであり、幾何的非線形性や塑性域の振がり等はあまり考慮されていない。それゆえ、既往の解析では骨組の変形硬化荷重を過大に、また、残留変形を過小に評価し、危険側の結果と算定する恐れがあるものと思われる。そこで、本研究では、より正確に変形硬化荷重等を把握するために、幾何的ならびに材料の両非線形性を考慮し、交番繰返し荷重をうける平面骨組を対象とした文献¹⁾の解析法と、一方向の繰返し荷重($0 \leq P$, 以下では、単に片振り荷重という)をうける場合にも適用できるように拡張して、簡単な門型ラーメンを解析し、幾何的非線形性ならびに材料の各非線形要素が、変形硬化荷重等に及ぼす影響について、若干の考察を加えんとしたものである。

2. 非線形要素¹⁾

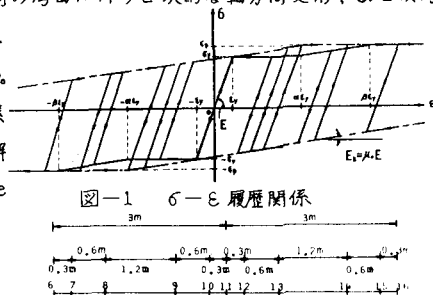
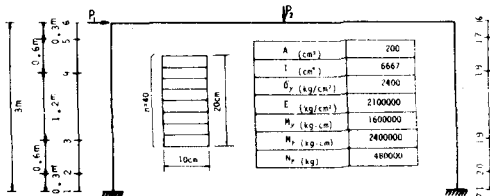
本研究で考慮した非線形要素を列挙しておけば、幾何的非線形要素として、1.座標変換行列の修正、2.軸力による2次的な曲げ、3.部材回転に伴う2次的な軸方向変形、4.部材の湾曲に伴う2次的な軸方向変形、5.2次的な部材回転角、材料の非線形要素として、6.塑性域の振がり、7.曲げと軸力との降伏相関関係、8.ひずみ硬化、9.残留応力である。なお以後では、表現を簡潔にするために、例えば、上記の6.の要素だけを考慮した解析をcase 6、1.~6.および9.の要素を考慮した解析をcase 1234569、すべて(1.~9.)の要素を考慮した解析をcase 123456789として表わすことにする。また、線形弾塑性(理想化した断面力-断面変形関係を用いた)解析は、case 0として表わすことにする。

3. σ - ϵ 履歴関係

本研究で用いた σ - ϵ 履歴関係は図-1のようである。ここで、 σ_y , σ_p , ϵ_y , および ϵ は、降伏応力, 最大応力, 降伏ひずみ, および、弾性係数を表わす。また、 $\alpha\epsilon_y$, $\beta\epsilon_y$, および $\mu\epsilon$ は、硬化開始ひずみ(ϵ_h), 硬化終了ひずみ(ϵ_f), および、硬化弾性係数(E_h)を表わすものとする。

4. 解析結果

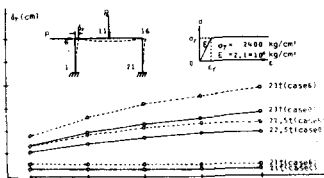
ここでは、片振り荷重をうける平面骨組の漸増塑性破壊あるいは変形硬化荷重に対する基礎的な比較として、図-2に示すような片振り荷重をうける両端固定門型ラーメン(部材の分割方法、載荷状態、ならびに、断面形状、断面分割数 n および断面諸量は、同図のようである。)を対象として、荷重の変動幅を2・3変化させて解析し、その場合の繰返し回数 n (図-2のstep 1~4の1サイクルを1回とする。)と、各回のstep 4の終り($P_1 = P_2 = 0$)における節点6(荷重

図-1 σ - ϵ 履歴関係

載荷方法 (1cycle)

Step	1	2	3	4
P_1	0-P	P-0	0-P	P-0
P_2	0-P	P-0	0-0	0-0

図-2 門型ラーメン・載荷方法・断面諸量

図-3 n - δr 関係 (case 0, case 6)

P_1 の載荷点)の水平方向の残留変形 δ_r との関係を2・3示しておく。

図-3は、塑性域の拡がりの影響を検討するために、荷重の変動幅 P をそれぞれ21t, 22.5t, 23tと3通りに変化させ、case 0とcase 6の場合について荷重を5回繰返しして(以下の例も、繰返し回数は5回とする。)解析した場合の各々の繰返し回数 n と残留変形 δ_r との関係を示したものである。

図-4は、ひずみ硬化の影響を検討するため、case 0(P : 23tのみ), case 8a(P : 23t, 25t, 26t), case 8d(P : 25t, 26t), および, case 8e(P : 23t, 25t)の場合について解析し、各々の n - δ_r 関係を示したものである。

図-5は、残留応力の影響を検討するため、 P をそれぞれ21t, 22.5t, 23tと3通りに変化させ、case 6, case 69a, および, case 69cの解析とした場合の各々の n - δ_r 関係を示したものである。

図-6は、幾何的非線形性の影響を検討するために、 P をそれぞれ22t, 22.5t, 23tと3通りに変化させ、case 0, および, case 12345の解析とした場合の各々の n - δ_r 関係を示したものである。

また、表-1は、片振り荷重をうける場合の変形硬化荷重と漸増荷重、もうける場合の崩壊荷重との関係が、幾何的ならびに材料の非線形性(要素)によつて、どのように変化するかを検討するために、載荷方法step 1(図-2参照)の漸増荷重をうける場合の崩壊荷重 P_c と、前述のような片振り荷重をうける場合の解析で得られた変形硬化を生ずる最大の荷重変動幅 $P_{se}(P_{se}/P_c)$ 、および、漸増塑性崩壊を生ずる最小の変動幅 $P_{su}(P_{su}/P_c)$ とを、 P_c の値が大きい順に示したものである。なお、詳細については、講演会当日にスライドを使って説明する予定である。

5. むすび

本研究で得られた主な結論を列挙するとつぎのようである。1. 本解析例のように、幾何的非線形性が比較的小さい場合には、塑性域の拡がり、ならびに、残留応力の影響による変形硬化荷重の変化はほとんどみられない。また、これに対して、変形硬化荷重は、ひずみ硬化の影響により、ほぼ δ_r/δ_p 倍に向の上し、降伏相関関係の影響によって低下する。2. 幾何的非線形性ならびに個々の材料の非線形要素が骨組の変形硬化荷重に及ぼす影響は、これらが漸増荷重をうける骨組の崩壊荷重に及ぼす影響と同様な傾向にあり、漸増荷重をうける場合の解析結果より、これらの非線形要素が、変形硬化荷重等に及ぼす影響をある程度推定できるものと思われる。

参考文献

- 1) 成行・平尾・児嶋: 繰返し荷重をうける平面骨組の弾塑性挙動に関する研究, 土木学会第35回年次学術講演会講演概要集I-42., 2) J. M. Davies: Variable Repeated Loading and The Plastic Design of Structural Engineer, Vol. 48, No. 5, May, 1970, PP. 181 ~ 194., 3) B. G. Neal: The Plastic Methods of Structural Analysis, Chapman & Hall, London, 1956, PP. 269 ~ 328.

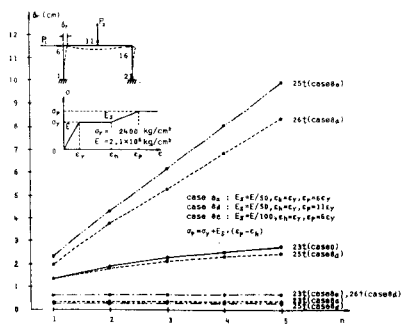


図-4 n - δ_r 関係 (case 0, case 8a, d, e)

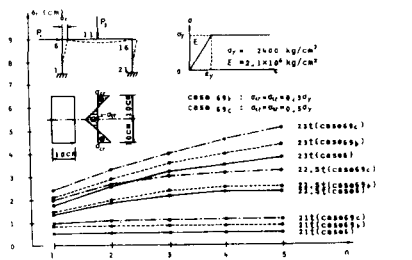


図-5 n - δ_r 関係 (case 6, case 69c)

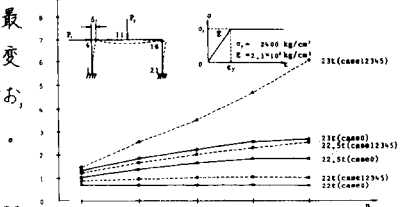


図-6 n - δ_r 関係 (case 0, case 12345)

Case	P/P_c	P_{se}/P_c	P_{su}/P_c	P_{se}/P_c	P_{su}/P_c	P_{se}/P_c	P_{su}/P_c	P_{se}/P_c	P_{su}/P_c
0	50	1	6	0.947	0.966	25.0	25.5	26.400	26.400
6	50	5	10	0.947	0.966	25.0	25.5	26.400	26.400
69a	50	1	6	0.928	0.947	24.5	25.0	26.400	26.400
69b	50	5	10	0.928	0.947	24.5	25.0	26.400	26.400
69c	50	1	6	0.928	0.947	24.5	25.0	26.400	26.400
12345	50	1	6	0.928	0.947	24.5	25.0	26.400	26.400
12345/69a	50	5	10	0.928	0.947	24.5	25.0	26.400	26.400
12345/69b	50	1	6	0.957	0.976	25.0	25.5	26.125	26.125
12345/69c	50	5	10	0.957	0.976	25.0	25.5	26.125	26.125
12345/69d	50	1	6	0.938	0.957	24.5	25.0	26.125	26.125
12345/69e	50	5	10	0.938	0.957	24.5	25.0	26.125	26.125
12345/69f	50	1	6	0.953	0.972	24.5	25.0	26.125	26.125
12345/69g	50	5	10	0.953	0.972	24.5	25.0	26.125	26.125
12345/69h	50	1	6	0.947	0.967	24.0	24.5	25.340	25.340
12345/69i	50	5	10	0.947	0.967	24.0	24.5	25.340	25.340
12345/69j	50	1	6	0.927	0.947	23.5	24.0	25.000	25.000
12345/69k	50	5	10	0.927	0.947	23.5	24.0	25.000	25.000
12345/69l	50	1	6	0.933	0.952	23.5	24.0	25.000	25.000
12345/69m	50	5	10	0.933	0.952	23.5	24.0	25.000	25.000
12345/69n	50	1	6	0.936	0.955	23.5	24.0	25.120	25.120
12345/69o	50	5	10	0.936	0.955	23.5	24.0	25.120	25.120
12345/69p	50	1	6	0.940	0.960	23.5	24.0	25.000	25.000
12345/69q	50	5	10	0.940	0.960	23.5	24.0	25.000	25.000
12345/69r	50	1	6	0.945	0.965	23.0	23.5	24.740	24.740
12345/69s	50	5	10	0.945	0.965	23.0	23.5	24.740	24.740
0				0.930	0.950	22.5	23.0	24.000	24.000
6				0.938	0.958	22.5	23.0	24.000	24.000
69a	0.1			0.938	0.958	22.5	23.0	24.000	24.000
69b	0.3			0.938	0.958	22.5	23.0	24.000	24.000
69c	0.5			0.936	0.956	22.5	23.0	24.000	24.000
7				0.946	0.967	22.5	23.0	23.789	23.789
67				0.946	0.967	22.5	23.0	23.789	23.789
679a	0.1			0.946	0.967	22.5	23.0	23.789	23.789
679b	0.3			0.946	0.967	22.5	23.0	23.789	23.789
12345				0.936	0.957	22.0	22.5	23.500	23.500
12345/6				0.942	0.963	22.0	22.5	23.560	23.560
12345/69a	0.1			0.942	0.963	22.0	22.5	23.560	23.560
12345/69b	0.3			0.943	0.964	22.0	22.5	23.540	23.540
12345/7				0.944	0.965	22.0	22.5	23.510	23.510
12345/67				0.945	0.967	22.0	22.5	23.570	23.570
12345/679a	0.3			0.946	0.968	22.0	22.5	23.520	23.520